L' UNIVERSO

LEZIONI POPOLARI

DI

FILOSOFIA ENCICLOPEDICA

e particolarmente di

ASTRONOMIA

e di

ANTROPOLOGIA

cioè: intorno ai principii fondamentali di tutte le Scienze, ed in particolare intorno al CIELO, ed all'origine e STORIA dell'UOMO.

DATE

NELLE PRINCIPALI CITTÀ D'ITALIA

DA

QUIRICO FILOPANTI

GIÀ PROFESSORE ORDINARIO DI MECCANICA E D' IDRAULICA

POSCIA LIBERO INSEGNANTE DELLE MEDESIME SCIENZE

NELL' UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Fasc. V.

CONCERNENTE IL SISTEMA SOLARE

BOLOGNA, Dicembre 1872

Stabilimento Tipografico di Giacomo Monti.

ELENCO DEI SIGNORI ASSOCIATI

- CONTINUAZIONE -

LUGO DI VICENZA

Nodari Bernardo, Fabbricante di Carta.

LUGO

Barrera Dott. Cesare Segretario
Biblioteca Comunale
Biblioteca Popolare
Casorati Enea
Manzoni Conte Giacomo
Marescotti Maestro Cesare.
Peruzzi Prof. Domenico

MASSA LOMBARDA

Maccaferri Luigi
Martoni Dott. Virginio
Torchi Pompeo

MEDICINA

Simoni Dott. Cesare

MILANO

Asti Prof. Giuseppe
Bellini Dott. P. B. Dirett. del Sole
Besozzi Dott. Carlo
Bolgiani Dott. Pietro
Brigola Carlo
Corbolani Notaro Bartolomeo
Galli e Omodei
Garavaglia Alfonso
Lazzati Rossi Cristina
Mauri Maestro Antonio
Militano Francesco
Modaelli Francesco, allievo-Maestro.
Medroni Prof. Francesco
Muzzarelli Francesco
Polli Dott. Giovanni
Pozzoli Ing. Rinaldo
Robecchi Levino

MOLFETTA

Nisio Luigi

NAPOLI

Lapucci Adarico

OMEGNA

Capra Cav. Avv. Onorato

POMARANCE

Bertini Carlo

PORRETTA

Moruzzi Ing. Beniamino

POTENZA

Anziani Antonio, Regio Provveditore
Console Davide, Prof. di Storia
Dorsa Prof. Francesco
Greco Prof. Francesco
Patrignani Costantino
Petrucetti Prof. Orazio

RAVENNA

Bertozzi Dott. Claudio
Borgognoni Prof. Adolfo
Branzanti Augusto
Ciardi Prof. Luigi
Corradi Prof. Pietro
De Medici Camillo
Emiliani Antonio di Battista
Farini Prof. Augusto
Gabici Periche
Guarneri Andrea, Capo Musica del 63. Reggimento di Linea
Leonardi Ugo
Lucertini Prof. Francesco
Mascanzoni Prof. Alessandro
Mazzoni Prof. Antonio
Miserocchi Francesco
Missiroli Carlo
Missiroli Enrico
Peletti Pio
Pigozzi Gaetano Paolo
Romanini Romano
Tommasi Aristide
Uccellini Primo
Villa Cesare

REPUBBLICA S. MARINO

Angeli Giuseppe
Governo della Reppublica
Martelli Avv. Giacomo
Muccioli Aurelio
Palombini Cesare
Tonini Cav. Paolo

RIETI

Aureli Prof. Filippo
Bonvicini Bonvicino
Municipio di Rieti

RIMINI

Amadei Giusto
Bilancioni Dott. Domenico
Bozzatti
Capi Domenico
Doria Gio. Battista
Francolini
Ghedini Cesare

luogo nell'oceano sotterraneo. La vecchia teoria riducesi in sostanza a dire: i mari immediatamente sottoposti alla luna ed al sole ne sono attratti più che il centro della terra, e quindi si alzano per accostarsi al corpo attraente; i mari nella posizione diametralmente opposta sono attratti dalla luna e dal sole meno di quanto è attratto il centro della terra; quindi nel mentre che il centro della terra accostasi alla luna od al sole, quel punto più lontano rimane indietro, e succede un gonfiamento, simile a quello dalla parte opposta, quasi in quel modo che se altri prende per una punta un fazzoletto aggomitolato sopra una tavola, e lo alza in fretta, tutta la figura del fazzoletto allungasi allontanandosi dal centro del fazzoletto tanto la punta afferrata dalla mano, quanto la punta opposta.

Non si può negare che questa sia una spiegazione molto breve, e facile a comprendersi da tutti; ma ciò che importa più di tutto, nella spiegazione di un fenomeno, si è che ella sia vera ed esatta.

Io credo di aver fatto fare un passo importante alla teoria delle maree: ciò è ben lungi dal significare che questo passo sia l'ultimo. La nuova teoria è ancora incompleta per quanto riguarda le grandi anomalie delle maree locali: essa è nondimeno in grado di spiegarle almeno in un modo generico, e meglio del modo con cui si pretende spiegarle nella teoria vecchia. Infatti essendo grandissime le ineguaglianze visibili della crosta terrestre, ed essendo probabilmente più grandi ancora le ineguaglianze che non si veggono, non può a meno che non esistano delle grandi irregolarità nelle maree locali visibili, poichè la marea visibile risulta dalla differenza fra l'alzamento od abbassamento della parte liquida e della parte solida del globo; ora l'alzamento od abbassamento locale della parte solida dipende dai varii gradi della sua grossezza e pieghevolezza.

Del rimanente però io tengo per fermo che le grandi irregolarità locali del flusso e riflusso delle acque marine sieno più apparenti che reali. Per esempio l'alta marea a Brest, come dissi, sembra alzarsi talvolta a 6.m 72, mentre a Granville, quasi contemporaneamente, l'acqua innalzasi sino a quattordici metri. Come potrebbe una sì grande differenza di altezza, più di sette metri, in sì picciola distanza esser reale, e mantenersi per una o due ore? La teoria ordinaria suppone che in tal caso l'altezza dell'acqua a Granville sia sette metri più alta che a Brest nell'alta marea, e sette metri più bassa che a Brest nella bassa marea. Ma se ciò fosse, siccome la profondità media del mare è grandissima, in paragone di quella dei fiumi, e quindi il *raggio medio* di lui, considerato come una corrente, secondo le leggi idrodinamiche (Lez. XIX, pag. 217), sarebbe grandissimo, l'acqua nell'alta marea correrebbe da Granville a Brest con una velocità di cinque in sei metri al minuto secondo, e con altrettanta velocità ricorrerebbe da Brest a Granville nella bassa marea: velocità alla quale appena i più forti vapori di mare potrebbero far testa.

È un errore l'attribuire coteste grandi differenze delle maree alle angustie dei golfi e delle baie. In un fiume ordinario, se voi restringete la sezione, ne risulta un alzamento dell'acqua, ma non potrete al certo innalzarla al di sopra della sorgente. Imperciocchè l'acqua che scorre per la sezione ristretta alzasi abbastanza per acquistare una velocità maggiore di quella cui ella avrebbe in una sezione più larga; e se voi presentate a quest'acqua, animata da considerevole velocità, un piano acclive, essa vi si arrampica sino ad un'altezza più o meno considerevole, ma non mai ad un'altezza maggiore di quella dovuta alla velocità, cioè non mai ad un'altezza maggiore di quella che generò quella stessa velocità.

Così se il dislivello totale dovuto alla marea nell'Oceano Pacifico è un mezzo metro, l'acqua correndo di là a dei golfi o delle baie di quella forma che volete, potrà ben produrvi un dislivello addizionale minore di un mezzo metro, ma non mai maggiore.

Io sospetto che l'altezza reale dell'acqua, ad alta o bassa marea, sia poco differente a Granville di quello che lo sia a Brest, e che la grande differenza apparente provenga in gran parte da un disuguale alzamento od abbassamento delle coste. A parer mio le montagne e le coste del mare sono soggette esse medesime ad una periodica oscillazione come le acque del mare visibile, e la lava dell'oceano plutonico, e quella oscillazione delle montagne e delle coste in generale è minore di quella del mare, ma in alcuni luoghi maggiore.

Secondo la nostra teoria, nelle alte maree medie la superficie dei mari equatoriali è lontana dal centro della terra cinquantasei centimetri di più che nella bassa marea susseguente; ma la crosta della terra si alza e si abbassa contemporaneamente sei centimetri, questo riduce a soli cinquanta centimetri il dislivello apparente. Ma nei luoghi di maree eccezionali, i movimenti della crosta terrestre possono essere molto diversi. Supponiamo per esempio che in alcuni luoghi, per effetto delle varianti pressioni sotterranee, e per l'effetto diretto dell'attrazione e della forza centrifuga, la corteccia del globo sia soggetta ad un periodico spianamento o corrugamento come la cute della mano, od il guanto che la veste, al chiudersi od aprirsi della mano stessa. La parte del globo dove le oscillazioni della corteccia formano dirò così le rughe più rilevate, sono le coste dell'Atlantico settentrionale, segnatamente quelle della baia di Fundy in America, e le coste della Francia da Brest a Calais. Io credo, per esempio, che quando a Granville l'alta

marea media sembra sette metri più elevata che a Brest, questo possa avvenire perchè a Granville le montagne e la costa sonosi abbassate sette metri di più a Granville che a Brest, e che il contrario avvenga nelle più basse maree.

Messa una volta in oscillazione la corteccia, anche se le cause originarie potessero cessare, dovrebbe per qualche tempo continuare la vibrazione. Ma le vibrazioni spontanee successive sarebbero elleno isocrone alle vibrazioni direttamente relative alle azioni del sole e della luna, o con periodo diverso? È chiaramente desiderabile per l'armonia cosmica che le vibrazioni spontanee della crosta sieno isocrone a quelle direttamente provocate dall'influenza dei due astri, ed è probabile che ciò avvenga di fatto. E le ragioni forse son due: una è la presenza dei fluidi elastici di enorme tensione, cui dicemmo nelle precedenti lezioni essere interposti fra tutta o parte della corteccia del globo e l'oceano plutonico, essendo un effetto dell'elasticità la conservazione delle forze vive. Un'altra ragione è forse la tendenza esistente nella Natura di accordare i varii movimenti vibratorii posti in prossimità gli uni degli altri.

Il tempo dell'oscillazione di un pendolo è direttamente proporzionale alla radice quadrata della lunghezza del pendolo stesso, ed in ragione inversa della radice quadra della forza acceleratrice. Perciò, se il flusso e riflusso del mare, invece di essere determinati dalla tenuissima differenza, alternativamente positiva e negativa, fra la forza attrattiva del sole e della luna, e la forza centrifuga generata dal moto della terra attorno a ciascuno di questi due astri, fossero dovuti soltanto alla forza attrattiva del sole, gli orologi a pendolo destinati a battere i secondi, batterebbero ad ogni oscillazione un secondo più una tremila e dugentesima parte di secondo

quando fossero verticalmente sottoposti al sole, ed un secondo meno quella piccola differenza allorchè avessero il sole al nadir: laonde, nello accumularsi per un seguito di ore queste piccole differenze, ad alta marea, i pendoli anticiperebbero di una quantità sensibile, cioè più di due secondi in due ore sopra i cronometri, i cui movimenti sono regolati dall' elasticità di una molla, e non dalla gravità. I pendoli anticiperebbero di altrettanto sui cronometri nella bassa marea. Come sono però le cose, attesa la piccolissima ed alternata prevalenza della forza solipeta e della solifuga, debbe esservi invero una reale accelerazione o ritardo alternativo dei pendoli, ma così lieve che non si potrà forse mai renderli sensibili coi più delicati mezzi.

Una volta, essendo io nella città di Providence, agli Stati Uniti di America, volli esplorare se mi venisse fatto di avvertire le variazioni diurne della gravità confrontando un cronometro marino con un orologio a pendolo. Il tentativo mi riuscì frustraneo; tuttavolta in quella circostanza imparai un' altra cosa, la quale credo bene di riferirvi per incidenza. Il bravo orologiaio il quale cortesemente prestommi il cronometro per l' esperienza, mi assicurò di aver osservato che i suoi orologi a pendolo, sospesi ad una medesima parete di legno, abbenchè presentassero in origine qualche lieve discrepanza nelle loro oscillazioni, pure a poco per volta giugnevano da sè a mettersi perfettamente daccordo, e l' orecchio percepiva un solo scatto contemporaneo dei varii scappamenti. Esistono altri esempi anche più notabili, di una tendenza dei movimenti periodici leggermente diversi a rendersi perfettamente isòcroni, nella Musica e nell' Astronomia.

La formola matematica, mediante la quale ho trovato l' altezza che avrebbero le maree della terra pro-

dotte dal sole, se la massa di lei fosse tutta liquida ed omogenea, sono generali, e si applicano alle maree prodotte da un corpo celeste in un altro corpo liquido e sferico qualunque, purchè la loro distanza reciproca sia molto considerevole in paragone del diametro del corpo di cui si cerca la marea. Si scorge da quella formola che l'altezza della marea è direttamente proporzionale alla massa perturbatrice ed alla quarta potenza del raggio del globo perturbato, ma in ragione inversa della stessa massa perturbata, e del cubo della distanza dell'astro perturbatore. Così e facile il calcolare approssimatamente le maree che avverrebbero nei varii corpi celesti, se la loro massa fosse tutta liquida ed omogenea: e benchè tale non possa essere il fatto, pure è probabile che le maree reali nei varii corpi celesti, come nella terra, non saranno moltissimo differenti da ciò che esse sarebbero nel caso ipotetico dell'assoluta fluidezza ed omogeneità.

Le maree che sarebbero cagionate dalla terra nella luna avrebbero nei due colmi opposti un'altezza quaranta volte più grande che le maree medie terrestri, se la luna avesse una rivoluzione apparente rispetto alla terra: ma siccome la terra è sempre nel prolungamento di un asse costante nella luna, l'influenza terrestre non può che aver cagionato un allungamento permanente ad ambe le estremità di quell'asse della luna. L'altezza delle maree cagionate nella luna dall'influenza del sole è insignificante, cioè appena la dodicimillesima parte di quella delle maree prodotte dal sole nella terra.

L'altezza delle maree prodotte dal sole in Venere è incirca eguale a quella delle maree prodotte nella terra dalla luna. Le maree totali di Marte sono alte 36 in 40 centimetri. Molto più piccole sono le altezze delle maree di Giove, cagionate dal sole, cioè otto centimetri soltanto, od un terzo delle maree cagionate dal sole nella terra.

Non sarebbe esatto però il dire che le maree di Giove prodotte dal sole sono più piccole di quelle prodotte dal sole nella terra: perchè quel piccolo dislivello di Giove, alto soltanto un terzo della marea solare terrestre, agita tutta intera una massa trecentodieci volte più grande della massa terrestre. E poi molto più grandi, anche in semplice altezza, sono le maree cagionate nei mari di Giove da' suoi quattro satelliti. Le maree prodottevi dal primo satellite, il più piccolo ma più vicino, sono quasi cento volte più alte di quelle prodotte dal sole: o di un dislivello totale di circa otto metri, quindi da undici o dodici volte più grande che il dislivello medio delle maree prodotte nella terra dall'azione unita del sole e della luna.

Ma è molto più interessante per noi il conoscere almeno approssimativamente le maree cagionate nel sole dall'attrazione dei varii pianeti, e dal complicato movimento del centro speciale del sole, attorno al centro comune di gravità di tutto il sistema. È facile, colla scorta della nostra teoria, lo stimare l'altezza delle maree cagionate nel sole dai varii pianeti de' quali si conoscono le masse e le distanze, supponendo, a tenore della teoria neutoniana, come abbiam fatto sinora, che gli effetti della forza centrifuga generata in due corpi che si aggirano attorno al comune centro di gravità, sieno i medesimi come se ognuno di loro si avvolgesse direttamente attorno all'altro. E questa ricerca non ha per noi un'importanza soltanto speculativa, essa ha ancora un'importanza pratica; imperciocchè è certo che le maree solari hanno uua decisa influenza sulle macchie solari, e le macchie solari ne hanno una altrettanto certa sopra le vicende meteorologiche della nostra terra.

La seguente tabella dà l'approssimativo dislivello fra l'alta e la bassa marea prodotta dall'azione di ciascuno

dei principali pianeti, in due punti della superficie del sole, uno direttamente rivolto al pianeta, l'altro diametralmente opposto.

PIANETI	*Altezza totale della marea solare in millimetri*
Mercurio	29. 76
Venere.	47. 91
Terra	23. 00
Marte	0. 71
Giove	56. 07
Saturno	2. 45
Urano	0. 05
Nettuno	0. 03
Planetoidi	0. 02?
	160. 00

Si scorge da questo quadro che l'azione riunita di tutti i pianeti, essendo eglino tutti in una stessa linea retta col sole, dalla stessa parte o no, cagionerebbe un dislivello totale di circa 160 millimetri, o un alzamento di ottanta millimetri sul livello medio della superficie solare. È chiaro ancora che Marte ed i planetoidi per la loro piccolezza, Saturno, Urano e Nettuno a cagione della loro distanza, non ostante la loro massa considerevole, influiscono ben poco sulle maree solari. I quattro pianeti che maggiormente vi influiscono sono Giove, in

grazia della sua enorme grandezza, Mercurio, Venere e la Terra, grazie alla loro vicinanza al sole, malgrado la mediocrità delle loro masse. Giove colla terra fanno, da lor due soli, quanto tutti gli altri posti insieme. Quindi allorchè Giove è per noi in congiunzione od opposizione col sole, se accadesse contemporaneamente che tutti gli altri pianeti fossero in una retta perpendicolare a quella che congiunge Sole, Giove e Terra, non vi sarebbe nel sole alcuna marea sensibile: perchè tanto sarebbe l'alzamento prodotto da Giove e dalla Terra in alcuni punti del Sole, e l'abbassamento prodotto in altri punti, quanto sarebbe l'effetto contrario prodotto dall'azione riunita di tutti gli altri pianeti. L'azione riunita dei tre pianeti più vicini è di gran lunga preponderante sopra quella di tutti gli altri pianeti.

La marea prodotta nel sole dall' azione riunita di Giove, Venere e Mercurio, è alquanto maggiore che quella prodottavi da Giove, Venere e Terra; ma le maree cagionate da questi tre pianeti, od anche soltanto, dalla Terra e da Giove, devono cagionare degli effetti non solo ottici, ma calorifici e magnetici più potenti per noi, perchè uno dei due punti culminanti della marea solare prodotta dalla terra è sempre rivolto verso di noi, mentre i punti culminanti delle maree prodotte dagli altri pianeti possono trovarsi in qualunque altra parte dell' equatore solare.

Il 4 Marzo 1838 trovaronsi press' a poco sopra una medesima linea retta il Sole, Venere, la Terra e Giove. Ora i rapporti delle velocità angolari di questi tre pianeti fan sì che essi trovansi di nuovo prossimamente in una stessa retta col sole in un periodo di undici anni, o più prossimamente di dieci anni e mezzo. Dunque questi quattro corpi si son trovati incirca sopra una stessa retta anche negli anni 1848, 1858, 1869, e negli anni prece-

cedenti 1827, 1817, 1807, ecc. Il periodo delle macchie solari è pure di dieci od undici anni. Le macchie solari son vicine ad un maximum del loro numero per circa tre anni consecutivi attorno all'epoca dell'*infilata* Sole-Giove-Venere-Terra. Chiamo per brevità *infilata* una disposizione di tre corpi e del sole cosiffatta che le rispettive longitudini eliocentriche dei tre pianeti sieno prossimamente eguali, o differiscano di 180°.

Il seguente quadro, rende meglio palese la corrispondenza fra le epoche di grandi maree solari, ed il numero delle macchie solari osservate. L'asterisco nella prima colonna indica gli anni, ed il decimo d'anno, nei quali ebbe luogo approssimativamente la quadruplice infilata Sole, Venere, Terra, Giove; l'asterisco nella seconda colonna indica l'anno nel quale fu realmente osservato il maggior numero di macchie solari. La terza e quarta colonna sono relative agli anni in cui fu osservato il minor numero di macchie.

ANNI di grandi maree solari	NUMERO di macchie osservate	ANNI INTERMEDII	NUMERO di macchie osservate
* 1827. 8	161	1832	84
1828	* 225	1833	33
1829	199	1834	51
1837	* 333	1842	68
* 1838. 2	282	1843	34
1839	162	1844	52
1847	257	1852	125
* 1848. 6	* 330	1853	91
1849	238	1854	67
1857	98	1862	160
* 1858. 9	202	1863	124
1859	* 205	1864	130

Non è probabile che sia interamente casuale l'approssimata coincidenza del principal periodo delle macchie con quello della quadruplice infilata Sole, Venere, Terra, Giove, benchè non sia facile il dare intera spiegazione della coincidenza. Nondimeno è agevole il comprendere che all'epoca della quadruplice infilata vi sarà un maggior rimescolamento e quindi una maggiore attività chimica in tutta la massa del sole: imperciocchè non bisogna dimenticare, che mentre le maree non si palesano agli occhi nostri che alla superficie, pure esse operano in realtà sopra tutta quanta la massa della terra, o del corpo celeste dove ha luogo la marea. Avverrà dunque, al tempo delle massime maree del sole, anche il maggiore sviluppo di calorico, la maggior eruzione di vapori e di gas. Nella seguente triplice infilata, Sole-Venere-Terra, nove mesi e mezzo dopo, essendo Giove in quadratura, debbono esservi delle minime maree, quindi minore attività chimica, e minore sviluppo di calorico; calo di tensione; conseguentemente precipitazione di vapori già sviluppati; nuvole nell'atmosfera solare, ovvero assorbimento; e le variazioni apparenti saranno tanto più numerose quanto più intense ed energiche sono state le cause di mutamenti reali.

Si noti poi che, a cagione dell'altissima temperatura, le maree comparativamente piccole del sole possono avere degli effetti proporzionatamente assai maggiori che il flusso e riflusso dei mari terrestri. Imperciocchè la tendenza dei liquidi al movimento dal fondo alla superficie, e viceversa, per effetto del raffreddamento superiore, potrebbe, in un liquido chimicamente omogeneo, venir contrastata dalla compressione, se non vi fosse il periodico aiuto della marea ascendente e discendente. Infatti imaginatevi un gran globo di materia liquida nel quale domini una temperatura sempre più alta dalla superficie al

centro, quale è probabilissimamente il caso della terra e dei corpi celesti, ma dove l'effetto della compressione negli strati più profondi superi l'effetto della temperatura; di guisa che gli strati inferiori sieno successivamente più densi degli altri. Saravvi equilibrio idrostatico, ma un equilibrio tuttavia instabile; giacchè se per una cagione qualsivoglia, anche debolissima, una porzione di materia liquida, alla temperatura e densità propria del suo strato, viene ad alzarsi alquanto, essa arriva ad uno strato ove è bensì minore la densità, ma è minore altresì la pressione; onde quella porzione novellamente arrivata, acquistando tosto la pressione propria di questo strato, ma serbando per qualche tempo la temperatura precedente, diverrà più leggera delle parti circostanti nello strato medesimo; e questa è ragione perchè ella salga ad uno strato più alto ancora, e così via via, sinchè ella giunga alla superficie. Per simil ragione, se una porzione di materia liquida, avente la temperatura e densità propria del di lei strato, è spinta per una causa qualunque a discendere ad uno strato più basso, ivi essa acquista immediatamente la maggior pressione propria di questo strato inferiore, ma portando con sè una temperatura meno alta, diverrà più densa della materia liquida circostante, e troverassi obbligata a discendere ad altri strati sempre più bassi. Lo stesso effetto avverrebbe, in un modo più energico, se invece di un liquido avessimo un vapore o fluido aeriforme.

La materia, certamente fluida, che compone la maggior parte della massa del sole e dei pianeti, non può essere chimicamente omogenea cioè tutta della stessa natura; ma se abbiam trovato una cagione di continuo movimento intestino nel fluido chimicamente omogeneo, questa ragione non mancherà al sole ed ai pianeti formati di sostanze eterogenee e mescolate alla rinfusa: anzi il

moto intestino sarà in tal caso anche più vivo, poichè agli immediati effetti idraulici delle differenti temperature aggiungonsi gli effetti fisici dei diversi svoglimenti ed assorbimenti di gas.

È chiaro impertanto che anche una piccola causa, quali sono comparativamente le maree solari, può produrre od occasionare nel sole un violento moto intestino, il quale manifesterà potentemente i suoi effetti alla superficie, sotto la forma di fàcule, di macchie, di protuberanze, o in altro modo; ma questa violenza, di moto intestino derivato, sarà tanto più forte quanto maggiori e più frequenti sono le scosse che rompono l' equilibrio instabile; per la qual cosa il brulichìo interno, ed il venire a galla di colonne liquide o vaporose, saranno molto più sensibili nelle grandi che nelle piccole maree.

D' altra parte, siccome questi effetti dipendono più direttamente dalla temperatura, e questa è di gran lunga più alta nel sole che nelle viscere della terra, ne consegue che anche una marea di pochi centimetri nel sole può cagionare alla superficie di esso degli sconvolgimenti assai più sensibili di quelli prodotti alla superficie terrestre da una marea alta alcuni metri. Una volta poi messa, per così dire, in orgasmo la massa fluida ed incandescente, per mezzo di una marea straordinaria, gli effetti chimici e fisici potranno forse continuare nel sole per un tempo assai più lungo ancora che quello conosciuto nel nostro pianeta sotto il nome di stabilimento del porto.

LEZIONE LIII

La Luna

Faenza.

« *Per correr miglior acqua alza le vele*
Omai la navicella del mio ingegno,
Che lascia retro a sè mar sì crudele. »

Dopo aver trattato a lungo delle buie regioni sotterranee del nostro e di altri pianeti e del Sole, tornerò oggi al più geniale argomento dell'Astronomia propriamente detta; e prima farò alcune importanti considerazioni relative a quello fra tutti i corpi celesti che è il più vicino a noi, cioè relative al nostro satellite, in aggiunta alle non poche cose che sparsamente ne dissi nelle precedenti lezioni.

Supremamente poetico è lo spettacolo del cielo per tutte le anime nobili e delicate; ma nella innumerabile famiglia degli astri quello che offre agli occhi nostri la più incantevole ed amabile vista, è la Luna. La scienza ci insegna che il Sole è quasi settanta milioni di volte più grande che la luna, e che dal Sole deriva a noi uomini ed agli altri animali terrestri una moltitudine e somma di benèfici effetti incomparabilmente maggiore che dalla luna, o da qualsivoglia altro corpo celeste: ma la prepossente forza dei raggi luminosi del Sole ci abbaglia, e non possiamo sostenerla anche per pochi istanti

senza pena e danno. L'argènteo chiarore della luna attrae ed alletta i nostri sguardi senza stancarli. Nella quiete di una notte serena, la vista del luminare minore dispone l'imaginativa ed il cuore ad una placida e soave malinconia; e ci è caro il mirare quasi sotto un nuovo aspetto gli oggetti da lei illuminati.

Il Sole ci presenta sempre un disco circolare, e di una grandezza prossimamente costante in apparenza, come ella è costante in realtà: ma la luna ci alletta anche colla periodica varietà delle sue fasi o forme apparenti, che sono or quelle di una falce argentina, ora di mezzo circolo, ora gibbose, ora di un disco intero.

Le fasi della luna dipendono dalle varie posizioni relative del sole, della luna e della terra. Questo piccolo globo artificiale cui tengo in mano, coperto di una veste metà bianca e metà nera, e veduto a sufficiente distanza, qual è quella che corre da me alla maggior parte di voi, miei gentili uditori, giova a spiegare i varii aspetti o fasi della luna, e specialmente la forma di falce cui essa prende, allorchè ci presenta meno della metà del suo disco illuminato.

Ecco che quando rivolgo a voi tutto l' emisfero bianco, vi sembra di vedere una superficie rotonda e piana, perchè la distanza non vi permette di distinguere il *colmo* e la convessità a voi rivolta, e così avete una fedele rappresentanza della luna piena; cioè quando la luna è *in opposizione* col sole, essendo la terra interposta fra la luna ed il sole, di modo che il sole è da una parte, e la luna dalla parte *opposta;* imperocchè allora la luna rivolge verso di noi tutto il suo emisfero illuminato dal sole.

D' altra parte è dimostrato che una sfera luminosa per sè medesima, o che riceve altronde una luce equabilmente diffusa, raggia questa luce in tutte le direzioni

per tal modo che da ciascuna parte della superficie sferica viene al nostro occhio la stessa quantità di luce che verrebbe dalla proiezione di quella parte di superficie sopra il circolo massimo, base all' emisfero luminoso rivolto a noi. Ond' è che l' emisfero ci presenta lo stesso effetto ottico di un disco piano.

Se rivolgo a voi la maggior parte dell' emisfero bianco del mio globo, ed una piccola parte dell'emisfero nero, vi par di scorgere la luna *gobba;* quando vi cade sott' occhio metà dell' emisfero bianco e metà del nero, vi sembra di vedere un mezzo disco; e ciò vi ricorda la mezza luna, qual ella mostrasi in cielo sette od otto giorni prima del novilunio, od altrettanti giorni dopo il novilunio. Allorchè vedete soltanto la minor parte dell'emisfero bianco, ed è rivolta a voi la maggior parte dell' emisfero nero, voi avete davanti agli occhi una figura falcata, qual è quella della luna due o tre giorni prima, e due o tre giorni dopo del novilunio. Infine, se io rivolgo a voi soltanto la parte nera, non vedete nulla o quasi nulla del mio globo. Il simile accade in realtà per la luna, quando essa è *nuova,* ossia è in *congiunzione* col sole; val a dire che la luna ed il sole sono rispetto a noi dalla stessa parte; il sole più lungi, e la luna più presso di noi: di maniera che il sole illumina tutta la metà della superficie lunare a noi invisibile, mentre rimane nell' ombra tutta la metà a noi rivolta.

Allorchè la luna è falcata, cioè quando ella rivolge verso di noi meno della metà del suo disco illuminato, le persone dotate di buona vista possono scorgere anche senza cannocchiale il resto del disco non illuminato dal sole, mercè la luce mandata dalla terra alla luna, e dalla luna rimandata verso di noi. Quella debole luce si suol chiamare la luce *cenerina,* o *cinerea.* Notate solamente che il diametro della parte illuminata dalla luce cenerina

sembra alquanto minore del diametro ordinario della luna, per una specie di illusione ottica, dovuta all' *irradiazione*, o espansione delle vibrazioni luminose nella retina del nostro occhio. L' irradiazione fa sì che di due corpi eguali, e ad egual distanza, quello che è meglio illuminato ci sembra più grande dell' altro. Per accennare un' applicazione poco importante di questo principio d' ottica, ma atta a fissar la regola nella memoria, perchè parla all' imaginazione, dirò che si consiglia alle donne magre di andar vestite di bianco, onde comparire alquanto più grosse che elle non sono; come per contrario alle pingui di portar abiti neri, onde render meno apparente la loro grossezza.

La Terra e la Luna, nei complicati lor movimenti attraverso agli spazii celesti, comportansi prossimamente come se la terra percorresse in un anno il contorno di un gran disco circolare il cui centro è occupato dal sole (Lez. XXXIX), e la luna percorresse in un mese il contorno di un piccolo disco, pur circolare, avente il suo centro nella terra, e cui però la terra stessa traesi seco in giro. Fa di mestieri imaginarsi ancora che il disco, del quale la luna percorre il contorno, sia fissato, con una inclinazione piccola ma costante, al gran disco di cui la terra percorre il contorno. Bisogna imaginarsi di più che i dischi, i cui contorni sono percorsi dalla terra e dalla luna, sieno saldati, con piccole ma pur costanti inclinazioni, ad altri dischi, aventi pure il centro nel sole, ed i cui rispettivi contorni sono percorsi dagli altri pianeti primarii, movendosi intanto tutto questo fascio di dischi, col sole al centro, verso la costellazione di Ercole.

Per accostarci un po' più al vero, fa d' uopo considerare tutti questi dischi non come esattamente circolari, ma di forma ellittica leggermente schiacciata, e tutti con un comune foco occupato dal sole. L' eccentricità dell' el-

lissi percorsa dalla luna attorno alla terra è un diciottesimo, o più esattamente,

0, 0549:

cioè a dire la distanza fra il centro dell' orbita lunare ed il foco occupato dalla terra, è incirca la diciottesima parte della distanza media dalla luna alla terra. È facile il dedurre da ciò che la distanza *perigea*, o minima, della luna dalla terra, la loro distanza media, e la distanza massima, od apogea, stanno fra loro prossimamente come i numeri otto, nove, dieci. La distanza media della luna dalla terra è molto prossimamente eguale a sessanta raggi, o trenta diametri, dell'equatore terrestre; o circa 382 mila chilometri.

Se la coincidenza del piano dell' orbita lunare col piano dell' orbita terrestre fosse perfetta, vi sarebbe una oscurazione od *ecclissi*, totale od annulare, di sole ad ogni novilunio, ed una ecclissi totale di luna ad ogni plenilunio. Ma il piano dell' orbita lunare è inclinato al piano dell' orbita terrestre con un angolo quasi costante, il cui valor medio è 5° 8′ 47″·9. Grazie a questa inclinazione delle due orbite, la maggior parte dei novilunii e plenilunii vanno esenti da ecclisse. Perchè avvenga l' ecclissi, fa d' uopo che la congiunzione od opposizione della luna col sole abbia luogo in prossimità di uno dei due nodi, cioè dei punti d' intersezione dell' ecclittica col piano dell' orbita lunare.

La predizione delle ecclissi non è cosa di grande difficoltà. Anche gli antichi astronomi sapevano predirle, perchè avevano osservato il loro riprodursi nel medesimo ordine in un ciclo di 223 lunazioni, ciclo che si crede scoperto dai Caldei, e da essi denominato *Saros*. I moderni le calcolano con metodi più sicuri e più precisi, estensibili a moltissimi anni indietro od a moltissimi anni in anticipazione. Avviene un'ecclissi od oscuramento, to-

tale o parziale, della luna tutte le volte che essa entra nel cono d'ombra gettata nello spazio dalla terra. Le ecclissi totali o parziali di sole avvengono, per lo contraio, nelle neomenie, o novilunii, ogni volta che un punto qualunque della luna trovasi in linea retta fra il nostro occhio ed una parte qualunque del sole, ragione per cui noi entriamo nel cono di ombra o penombra gettata nello spazio dalla luna.

La grandezza apparente della luna è incirca eguale a quella del sole, ma è enorme la differenza delle loro grandezze reali. Il diametro reale del sole è quasi 400 volte più grande del diametro reale della luna; ma siccome la distanza del sole da noi è incirca quattrocento volte più grande che la distanza della luna, ne segue che il diametro apparente del sole eguaglia press' a poco il diametro apparente del nostro satellite, e quindi i due dischi sembrano pure eguali. Il rapporto di 400 ad uno fra i due diametri reali non è esatto, ma si dilunga poco dal vero. Se fosse esatto, il volume del sole starebbe a quello della luna come il cubo di 400, cioè 64 milioni, sta ad uno. Il vero diametro della luna è un poco più di due mila miglia italiane; più esattamente 2092 miglia, o 3875 chilometri. Il volume è incirca un quarantanovesimo di quello della terra.

I diametri apparenti del sole e della luna variano in ragione inversa delle loro distanze reali, e queste sono variabili a cagione del moto ellittico della luna attorno alla terra, e della terra attorno al sole. Se succede un' ecclissi centrale di sole quando la luna è presso al suo apogeo, e la terra è presso al perielio, il diametro apparente del sole supera sensibilmente quello della luna, e perciò l' ecclissi è annulare, val a dire che scorgiamo un annello luminoso attorno ad un circolo nero, che è il disco oscuro della luna.

Osservando la luna piena anche ad occhio nudo, ognuno vi scorge delle parti più brillanti e delle meno luminose. Le più scure furono dapprincipio credute e denominate mari, e vi si diedero varii nomi arbitrarii e fantastici, come mare delle crisi, mare di nettare, mare della serenità: ma ora si ritiene con maggior verosimiglianza che i pretesi mari non sieno che avvallamenti asciutti della superficie lunare. Le parti più luminose sono state riconosciute con tutta sicurezza per montagne, ed è possibile il misurarne anche le altezze, mediante le ombre più o meno lunghe cui esse gettano, ora da una parte or da un'altra, secondo la posizione relativa del sole. Le montagne lunari la cedono di poco alle più elevate della nostra terra. Le più alte sono presso il polo australe della luna, cioè presso quel punto del disco che rimane alla nostra destra, quando guardiamo la luna piena al suo nascere. Fra esse il monte Doerfel, supera di più di mille metri il Cimborazo, essendo alto 7600 metri. Presso il polo settentrionale della luna, cioè presso quel punto che rimane alla nostra sinistra, quando la vediamo all'oriente, il monte Calippo elevasi a 6200 metri. Il cratere di Eratostene, nella catena detta degli Appennini, è alto 4800 metri, come il nostro Montebianco.

Nel solito intervallo di riposo fra le due parti della lezione, mi è stata fatta in cortese modo la domanda che io spieghi la ragione dell'apparente forma di un volto umano, cui ci presenta la luna. In una conferenza di Enciclopedia popolare non è fuor di luogo il trattare anche una simile quistione.

La soluzione dipende in parte dall'Astronomia, ma in più gran parte dalla Psicologia, ossia dalla cognizione delle facoltà e delle abitudini della mente umana.

Rammenterò prima ciò che ne insegna l'Astronomia,

La superficie della luna, invece di essere piana e liscia, è irta di scabrosità, e di avvallamenti. Le sue montagne, in paragone delle dimensioni del nostro satellite, sono proporzionatamente assai più alte che quelle della nostra terra; imperciocchè il diametro della luna è poco più di una quarta parte del diametro della terra, e le più eccelse montagne lunari, come abbiam veduto nella prima parte della lezione, emulano l' altezza assoluta delle nostre più alte. Primo fu Galileo a scoprirle, ed a proporre di misurarne l' altezza mediante le ombre. Sono elleno numerosissime, ed in forma per lo più di grandi e larghi crateri di vulcani estinti, come pur notai nella prima parte della lezione, e formano delle vaste catene con delle interposte valli. Una montagna circolare della luna chiamata Ticone ha un diametro di 91 chilometri; un' altra montagna circolare chiamata Archimede ha un diametro di 87 chilometri. Le parti meno luminose sono le più depresse, quelle che due secoli fa erroneamente si credevano mari. Ad occhio nudo non possiam distinguere uno dall' altro i picchi individuali e le valli, ma ne scorgiamo all' ingrosso la distribuzione generale.

Vista col telescopio la luna non presenta affatto l' illusorio aspetto di una faccia umana. Sembra in realtà più bella e più incantevole che mirata ad occhio nudo; tuttavolta fra gli oggetti familiari che facilmente occorrerebbero all' imaginazione, osservando la luna col telescopio, avvene uno niente affatto poetico, che sarebbe un formaggio tagliato paralellamente alle sue faccie, coi suoi numerosi buchi rotondi, corrispondenti ai crateri circolari della luna. Ma come una pittura a fresco od un mosaico vi fa un effetto da vicino, ed un altro tutto differente da lontano, così l' ineguale distribuzione ed accumulamento delle parti più luminose e delle meno luminose, dell' emisfero lunare costantemente a noi rivolto,

si prestano accidentalmente alla nostra imaginazione a raffigurarci i principali lineamenti del volto umano: fronte, occhi, naso, bocca, gote e mento. Contribuiscono potentemente a suscitarci per associazione l'idea del volto umano due altre circostanze, la reale rotondità del disco della luna piena, e l'apparente diametro di una spanna incirca, che è presso a poco il reale diametro medio della faccia umana. La ragione per cui tanto il sole che la luna ci sembrano aver il diametro di una spanna, o due decimetri, si è questa: che essendo noi avvezzi a trovare che i corpi meglio visibili sono i più vicini, ci siamo irresistibilmente abituati sin da fanciulli, prima che la riflessione potesse correggere l'erroneo giudizio, a tirar giù il sole e la luna, colla nostra imaginazione, alla più vicina distanza possibile, che non fosse contraddetta dal fatto percettibile anche ai fanciulli, che il sole e la luna passano al di sopra degli alberi e delle case. Ora un globo del diametro ottico di 32 minuti, se fosse ad una distanza di 20 in 22 metri, qual'è l'altezza media degli alberi e dei tetti, avrebbe appunto un diametro reale di circa 20 centimetri, od eguale a quello del volto umano (Lez. XXX, pag. 17, Vol. II).

Così il fanciullo è tratto invincibilmente ad associar l'idea delle dimensioni, ed un poco anche della forma generale, del rotondo disco della luna con ciò ch'egli ha di più familiare e di più caro, il volto di sua madre. Quindi istintivamente egli vi cerca i lineamenti umani. Sonovi diverse macchie che a ciò acconciansi in modo grossolano; sonvene altre le quali, prestandovi attenzione, contraddirebbero troppo palesemente l'idea di un viso umano; ma non si bada a queste ultime: noi ne facciamo astrazione, e fissiamo di preferenza la nostra attenzione sulle prime, ed ecco creata l'illusione. Il simile avviene osservando delle piccole macchie di bosso pulito

od altre accidentali combinazioni di chiari e scuri. Dapprima non vi trovate nessuna sembianza umana, come in realtà ella non vi è: ma con un poco di buona volontà e di imaginazione voi riuscite infine a trovarci una qualche apparenza, più o meno approssimata, più o meno bizzarra, di forme umane. Se è una combinazione troppo fortemente irregolare, la vostra imaginazione ne fa una caricatura od un mostro, ma più che altra cosa una caricatura od un mostro umano. E quando una volta avete associato nell'imaginazione quelle tali accidentali combinazioni di macchie, con una figura o mostruosità umana, guardandovi di nuovo sembra naturale, e non effetto d'industria, il trovarvi quella fantastica somiglianza. Se gli animali avessero un'immaginazione eguale alla nostra, i cavalli non andrebbero soggetti all'illusione di trovar nella luna una somiglianza qualunque ad una testa cavallina, perchè la rotondità del disco contraddice in guisa troppo palese un simile errore: ma i gatti, i gufi, le foche, crederebbero di leggieri di riscontrarvi alcuni lineamenti della loro rispettiva specie.

Il vero si è che le macchie della luna si prestano, non perfettamente, a gran pezza, a rappresentare una faccia umana, ma un po' meno male di quanto potevasi forse attendere da una combinazione interamente casuale. Elle vi si prestano specialmente quando la luna è piena e dalla parte di levante, cioè in principio di sera, che è l'ora per noi più comune, e più comoda, di vederla. Guardandovi nel mattino, presso al suo tramontare, la figura reale delle macchie è rovesciata; rimane nel mezzo ciò che faceva, bene o male, da naso: ma ciò che prima si prendeva per gli occhi è divenuto una bocca un po' sgangherata; ovvero si cercano compiacentemente altre macchie ed altre parti lucenti che prestinsi bene o male a figurare una nuova fronte al di sopra, due

nuovi occhi, una nuova bocca, un altro mento al di sotto, altre gote ai lati.

Un' altra quistione, praticamente più importante, e molto più frequente ad udirsi, rispetto alla luna, è quella relativa alla contrastata di lei influenza sulla vegetazione e sul tempo buono e cattivo.

In tutti i tempi, non escluso certamente il nostro, i barbassori hanno amato di seguire questa illiberale ed illogica massima: il popolo crede tale o tal cosa, dunque è un errore. Io ho una massima tutto opposta: credo che in quistioni di fatto il popolo non s' inganni quasi mai interamente. Al certo non basta che un'opinione sia generale perchè il filosofo debba prestarle una cieca credenza, senza alcun esame. Esaminando bene però le opinioni popolari, vi si trova generalmente non poca esagerazione od inesattezza, ma sempre un qualche fondamento di vero. L' esperienza dei più saggi e valenti agronomi insegna questo: che l' influsso fisico della luna sulle piante, benchè in qualche maniera esista, è però molto meno grande di quello che dai contadini generalmente si decanta; e che nelle operazioni campestri ed ortensi non bisogna postergare l' opportunità immediata ed altre considerazioni più gravi e più sicure, alla troppo problematica influenza delle fasi lunari.

Certissima cosa è che il principal regolatore della vegetazione e delle meteore è il sole: ma che anche la luna eserciti una qualche influenza, benchè assai piccola, sulla vita delle piante, può argomentarsi a priori da questo fatto, ben noto ai botanici, che la luce ha una sensibilissima efficacia sulla vegetazione. Dunque è naturale che le piante siano sottoposte ad un effetto sensibimente diverso per la luce della luna quando essa è piena, e risplende tutta la notte, di quello che nelle notti nelle quali essa è assente dal nostro cielo, o non vi risplende

che per poche ore, e con una piccola parte del suo disco illuminato dal sole. Del rimanente il fatto che la luce della luna opera sui vegetabili in un modo analogo, benchè necessariamente assai più debole di quello della luce solare, cioè scomponendo l'acido carbonico durante la vegetazione, è stato direttamente provato dalle esperienze di Vohl e di Liebig.

Tutti sanno che la luna ha una sensibilissima parte nel flusso e riflusso del mare: io poi ho mostrato in altre lezioni che la luna è la principal regolatrice non solo delle oscillazioni del mare visibile, ma di quelle pure dell'oceano plutonico o sotterraneo, molto più grande del mare visibile; e che molte meteore, specialmente le più terribili, hanno la loro origine nel mare plutonico; onde è evidente, anche a priori, cioè argomentando dalle cause agli effetti, che la luna dee avere una parte reale, benchè secondaria, nelle vicende meteorologiche.

Non sono mancati dei rispettabili fisici e meteorologisti, che hanno patrocinato l'opinione popolare sull'influenza della luna nella vegetazione e nel buono o cattivo tempo. Fra essi il Toaldo credette di poter mostrare, col risultato delle osservazioni fatte a Padova in un periodo di quasi mezzo secolo, che avvi una considerevole probabilità di cambiamento di tempo in tutte le crisi lunari, come luna nuova, luna piena, primo e secondo quarto, luna perigea od apogea; ma più segnatamente nel novilunio e nel plenilunio, massimamente se una di queste due fasi coincide col perigeo, o minima distanza della luna dalla terra. Sventuratamente è giusta la critica fattagli dall'Arago, che le statistiche meteorologiche del Toaldo non sono abbastanza concludenti, per aver egli lasciato nel vago tanto il numero dei giorni paragonati insieme, quanto i criterii per giudicare se il tempo debba dirsi cambiato o no, considerando egli ar-

bitrariamente come un cambiamento di tempo anche la successione di un cielo più o meno nuvoloso al sereno, di un vento più o meno gagliardo all' apparente quiete dell' atmosfera, e viceversa.

Ora è troppo vero che questi gravissimi difetti di metodo tolgono molta autorità alle teorie del Toaldo, ma non già che riducano tale autorità precisamente a zero. Non è intrinsecamente verosimile che un uomo diligente e di buona fede, dopo aver a lungo studiato una quistione di fatto, della quale ha gli elementi sott' occhio, arrivi a delle conchiusioni diametralmente opposte al vero, circa la rispettiva prevalenza di una od altra categoria di questi medesimi elementi. Se voi domandaste, non solo ad un uomo del volgo, ma a novanta fra cento persone di una distinta educazione, la ragione per cui credono che la statura media dell' uomo sia superiore alla statura media delle donne, sentireste un profluvio di confusione e di inesattezze, ed una assenza apparentemente completa di logica. Uno vi darebbe per una buona ragione che egli individualmente è quasi un palmo più alto di sua moglie; un altro negherebbe recisamente la pretesa superiorità di statura del nostro sesso, per la ragione che la gigantessa A è più alta del pigmeo B. Un filosofo pedante non mancherebbe di dire che tutte queste testimonianze confuse e contraddittorie non provano nulla affatto: un filosofo vero saprebbe invece trarne la certezza della superiorità della nostra statura media sopra quella delle donne, anche se egli non avesse modo di misurarla direttamente.

Fra gli scienziati e filosofi di seconda classe la maggior parte nega sdegnosamente l' influenza lunare, e credo che la loro principal ragione di negarla sia perchè il volgo l' afferma. La quistione deve risolversi o con una nuova serie di osservazioni meglio fatte, o con un

esame più ragionato di quelle che si son fatte sinora. Sembra a me che fra altre vie potrebbe tentarsi quella che ora dirò. Prendansi da una serie di effemeridi astronomiche i giorni di sizigie e di quadratura della luna col sole per un numero considerevole d'anni, per esempio cinquanta: indi fate l'estratto, da una serie paralella di osservazioni meteorologiche, della quantità di pioggia caduta nel giorno di ciascuna congiunzione ed opposizione della luna col sole, e nei due giorni susseguenti, perchè questi sono ordinariamente i tre giorni di più alte maree in ogni mezzo mese lunare, essendo solita la maggior marea a verificarsi trentasei ore dopo la congiunzione od opposizione della luna al sole: fate il simile pei giorni del primo e dell'ultimo quarto, e nei due giorni rispettivamente susseguenti, attesochè le più piccole maree sogliono verificarsi trentasei ore dopo il momento in cui la luna è a 90 gradi dal sole. Eseguite poscia a parte la somma di tutte queste altezze di pioggia, pei tre giorni di luna nuova, pei tre giorni di luna piena, pei tre giorni del primo quarto, e per quelli dell'ultimo quarto, in tutto il mezzo secolo. Se trovate una notabile differenza fra le somme di pioggia relative ai quattro principali punti lunari, e se queste differenze si verificano non solo per un dato osservatorio, ma per la maggiòr parte di quelli ove si sarà tentata la prova, questo sarà un argomento probabile, e molto più decisivo che il semplice numero di giorni sereni o piovosi, in favore della popolare opinione (*).

(*) Io ho eseguito un simile estratto dal registro meteorologico della Specola dell'Università di Bologna, pel decennio 1861-1870. Il risultato apparisce dalla seguente tabella.

PIOGGIA CADUTA
nei giorni di novilunio, plenilunio ecc., e nei due giorni rispettivamente susseguenti.

Anno	Novilunio	Plenilunio	Primo quarto	Ultimo quarto	Anno intero
1861	0. 0288	0. 0535	0. 0343	0. 0203	0. 4202
1862	0. 0528	0. 1255	0. 0365	0. 1554	1. 0203
1863	0. 0360	0. 0380	0. 0235	0. 0495	0. 6157
1864	0. 0492	0. 1070	0. 0760	0.·1029	0. 8176
1865	0. 0170	0. 1035	0. 0315	0. 0672	0. 4716
1866	0. 0915	0. 0845	0. 0735	0. 0475	0, 6161
1867	0. 0820	0. 0480	0. 0915	0. 1285	0. 9137
1868	0. 0360	0. 0235	0. 0370	0. 0630	0. 6208
1869	0. 1265	0. 3455	0. 1450	0. 0650	1. 1190
1870	0. 0740	0. 0640	0. 1570	0. 1000	0. 6820
Decennio	0. 5938	0. 9930	0. 7058	0. 7993	7. 2970
Media giornaliera	0. 0016	0. 0027	0. 0019	0. 0022	0. 0020

Benchè in questi dieci anni vi siano stati 124 novilunii, e solamente 122 plenilunii, pure nei 366 giorni prossimi alla crisi del plenilunio è caduta in totale un'altezza di pioggia pari a 0.m 993, quasi un metro; mentre nei 372 giorni prossimi alla crisi del novilunio sono caduti soltanto 0.m 5938, ossia sei decimi incirca dell'altra quantità. Non è facile, colle teorie attuali, il render ragione di una sì considerevole differenza; ma questa è probabilmente un'accidentale anomalia, essendo troppo breve il periodo di dieci anni per trarne delle sicure induzioni generali. La media giornaliera generale dei 3.m 0919 di pioggia, caduti nei giorni di crisi lunari, è 0.m 0021, cioè appena superiore del 5 per cento alla media giornaliera generale del decennio, ed appena il 9 per cento sopra la media dei giorni estranei alle crisi lunari.

Casoni, studiando il registro della stessa Specola di Bologna, pei 45 anni dal 1814 al 1858, e paragonando la somma delle pioggie cadute nei sette giorni attorno al perigeo colla somma della pioggia caduta nei sette giorni attorno all' apogeo, ha trovato i seguenti numeri:

1033 *giorni di pioggia per l' apogeo;*
1079 » *pel perigeo;*
6.m 1102, *quantità totale di pioggia per l' apogeo;*
6.m 5845, » *pel perigeo.*

Queste differenze sono abbastanza forti, ed in bell' accordo colla teoria. Imperciocchè nessuno che rettamente ragioni su quest' argomento pretenderà giammai che la luna abbia un' influenza preponderante sulle vicende atmosferiche; non può ragionevolmente sostenersi altra tesi che questa: avervi essa un' influenza piccola, ma reale, e degna di essere considerata. Ai risultati ottenuti dal Casoni consuonano quelli ottenuti dallo Schübler, il quale fra 371 rivoluzioni anomalistiche trovò che nei 2597 giorni, presi sette a sette, attorno al perigeo, piovve 1169 volte, e nello stesso numero di giorni attorno all' apogeo solamente 1096 volte. Ripeto che siffatte differenze sono piccole, ma non insignificanti. Nessuna persona mediocremente istruita ignora l' influenza della luna nelle maree. In quelle sì, essa ha una parte preponderante e non già secondaria. Ho mostrato in altra lezione (la precedente), che l' altezza delle maree cagionate da un astro é in ragione inversa del cubo della distanza. L'eccentricità dell' orbita lunare è un diciottesimo; quindi la distanza della luna perigea sta alla distanza della luna apogea incirca come 17 : 19; ed i due cubi stanno incirca come tre a quattro. A cose altronde eguali la marea prodotta dalla luna perigea sarebbe dunque un terzo incirca più alta della marea cagionata dalla luna apogea: ciò nondimeno se si facesse la somma delle altezze delle maree in molti giorni di luna perigea, e la somma dell' altezza delle maree in altrettanti giorni di luna apogea, le due somme differirebbero probabilmente in un rapporto assai minore che non è quello di 4 a 3; conciossiachè l' influenza del pe-

rigeo sarebbe nascosta, nella maggior parte dei casi, dalle altre due più forti influenze, delle sizigie e delle quadrature. Così non sono da aspettarsi, nelle osservazioni meteorologiche, delle differenze proporzionate alle differenze delle maree, perchè nella meteorologia l'influenza della luna è secondaria, e non principale. L'influenza meteorologica preponderante, come già dissi, è quella del sole; ed inoltre l'influenza meteorologica del sole, come quella della luna, sono mascherate dai capricci delle innumerabili anomalie locali.

LEZIONE LIV

Il Sole

Il più maraviglioso dei corpi a noi noti è il Sole. Anche il selvaggio ed il fanciullo, che ne ignorano le straordinarie dimensioni, persino gli animali irragionevoli, sentono vivamente la benefica ed incomparabile potenza della sua luce e del suo calore. Gli antichi filosofi, benchè non conoscessero come noi tutta la grandezza dell' astro del giorno, avevano però trovato per via di ragionamento che egli è di gran lunga più voluminoso di quanto apparisce. Nel secondo libro intorno alla natura degli Dei Cicerone afferma che il sole supera in grandezza molte volte la terra.

Ma per giugnere scientificamente alla cognizione delle reali dimensioni del sole fa d' uopo il conoscerne prima la distanza; e la vera distanza del sole da noi non è divenuta nota con qualche approssimazione che appena dugento anni fa. Le distanze degli astri dal centro della terra sono in ragione inversa della loro parallassi. Si chiama parallassi l' angolo sotto il quale si vedrebbe il raggio della nostra terra dal centro dell' astro. Per esempio l' arco di un minuto, eguale prossimamente al suo seno, è contenuto 3438 volte nel raggio del circolo; dunque la distanza di un astro la cui parallassi orizzontale fosse un minuto, sarebbe eguale a 3438 raggi della

terra. Un astro la cui parallassi fosse un mezzo minuto avrebbe una distanza doppia della precedente. Aristarco di Samo attribuiva al sole una parallassi di tre minuti. Keplero inclinava a dargliene una di un minuto, cioè a supporre il sole tre volte più lontano di quanto lo supponeva Aristarco. Secondo Keplero adunque il sole sarebbe stato distante 3438 raggi della terra, come abbiam veduto testè; od incirca undici milioni di miglia. Sarebbe già una bella distanza! ma la parallassi ammessa da Keplero era sette volte troppo grande, cioè la distanza da lui supposta è almeno sette volte più piccola della vera distanza del sole.

Pur nondimeno una delle tre celebri leggi scoperte da Keplero, cioè la terza, ha fornito il primo mezzo di sicura approssimazione nello stimare la reale distanza della terra dal sole.

Il metodo fondamentale per istimare le distanze degli oggetti inaccessibili, sieno essi in terra od in cielo, consiste nell'osservarli contemporaneamente da due luoghi di distanza nota. La distanza fra questi due diversi luoghi di osservazione si chiama la base. Bisogna osservare e determinare accuratamente i due angoli cui fa la base colle due visuali che mirano all'oggetto lontano. Da questi due angoli si rileva anche il terzo angolo del triangolo formato dalla base colle due visuali; perchè i tre angoli di qualsivoglia triangolo rettilineo formano sempre una somma di 180°. Dati gli angoli di un triangolo, si conoscono i rapporti fra i lati, qualunque sia la grandezza del triangolo: laonde si saprà qual rapporto abbia la base nota del triangolo, a quel lato che corrisponde alla distanza dell'oggetto inaccessibile; e così diviene nota anche questa distanza.

Ma se si tratta di determinare la distanza del sole, questa è così grande che osservando contemporaneamente

il sole da due punti della terra, lontani fra loro il più che si possa, la base del triangolo riesce sempre troppo piccola; imperciocchè la somma degli angoli delle due visuali colla base è quasi eguale a 180°. La differenza fra questa somma e 180°, ossia l'angolo cui fanno fra loro le due visuali, è la parallassi, o tien luogo della parallassi; ma l'errore anche soltanto di un minuto secondo, facilissimo a commettersi nella stima di quest'angolo, porta l'errore di almeno dieci milioni di miglia, o più di diciotto milioni di chilometri, nella stima della distanza del sole.

Marte, quando è in opposizione col sole, dista da noi, in media, la metà soltanto, ad un incirca, di quanto dista da noi il sole; anzi, attesa l'eccentricità di un sessantesimo nell'orbita terrestre, e l'eccentricità molto maggiore nell'orbita di Marte, le di cui distanze minima media e massima stanno fra loro come i numeri 10:11:12, la distanza minima delle due orbite è poco più di un terzo della distanza media della terra dal sole, come ne dà indizio anche il nostro planisfero (Vol. I, pag. 400). Era dunque più facile lo stimare con una discreta approssimazione la distanza di Marte da noi, quando la lontananzà di questo pianeta da noi è al suo minimum. Ma determinata che sia una volta la minor distanza reciproca di due pianeti fra loro, la terza legge di Keplero ci dà prima il modo di determinare la distanza media di ambedue dal sole, e poscia la distanza media del sole stesso da tutti gli altri pianeti. La terza legge di Keplero porta che i quadrati dei tempi delle rivoluzioni de' pianeti attorno al sole stanno fra loro come i cubi delle loro distanze. Ora i tempi delle rivoluzioni si conoscono con grande precisione, da due successivi passaggi di ciascun pianeta per l'ecclittica: e le distanze relative si argomentano, anche senza conoscere le distanze reali, dagli

archi di massima elongazione apparente dei singoli pianeti dal sole. Per la qual cosa, noti essendo i tempi periodici di due pianeti, basta il conoscere la distanza assoluta d' uno di essi dal sole, ed un calcolo fondato sulla terza legge di Keplero, per poterne dedurre la distanza assoluta anche del secondo pianeta, senza commettere il sofisma chiamato dai dialettici circolo vizioso. Con siffatto espediente dalla parallassi approssimativa di Marte, nella sua minor distanza da noi, Cassini trovò la parallassi del sole eguali a dieci minuti secondi, la quale darebbe al sole incirca una distanza di ventuna mila raggi terrestri.

Halley suggerì un metodo suscettibile di maggior precisione, e che fu applicato da molti astronomi nel 1769, anno dell' ultimo passaggio, sinora avvenuto, di Venere sul disco del sole. Il metodo consiste nell' osservare questo passaggio da molti e distanti luoghi della terra. Per due diversi osservatori, Venere, sotto forma di una piccola macchia nera, descrive sul disco solare due corde differenti ma parallele. Dal diverso tempo impiegato dal pianeta a descrivere queste corde si argomenta la loro diversa lunghezza; dalla loro lunghezza la loro distanza angolare; dalla distanza angolare delle due corde e dalla terza legge di Keplero si deduce il rapporto della distanza nota fra i due osservatori alla cercata distanza del sole. Presa la media dei risultati delle osservazioni del 1769, combinate a due a due, si ottenne per valore della parallassi del sole, cioè dell' angolo sotto il quale si vedrebbe dal centro del sole il raggio dell'equatore terrestre,

8".59.

Ora un arco di 8 secondi, e 59 centesimi di secondo, od incirca 8".6, è quasi esattamente la ventiquattromillesima parte del raggio. Questa parallassi, adunque, assegnerebbe alla distanza media fra il centro della terra

ed il centro del sole una lunghezza assai prossimamente eguale a 24000 raggi, o dodici mila diametri dell'equatore terrestre. Siccome il diametro dell'equatore è 6888 miglia italiane (Lez. XXX, pag. 411), la distanza media del sole sarebbe

82,656,000 miglia, pari a
152,914,000 chilometri.

Da otto anni in qua, si sono riveduti i calcoli fatti in addietro sulle osservazioni del passaggio di Venere, e si è creduto di trovarvi un errore di qualche rilievo, cioè il 3 per 100 in troppo, quanto alla distanza; e di dover ridurre la parallassi del sole ad

8″.86.

Io mi confesso di nutrire qualche dubbio se questa supposta correzione ci approssimi in realtà all'esattezza, o ce ne allontani, in paragone del calcolo del 1769. Al postutto una differenza del tre per cento soltanto in siffatta materia non è gran cosa. Le distanze itinerarie fra le principali città del globo, ed anche fra diversi luoghi di una medesima provincia, non sono generalmente note che fra limiti di approssimazione anche più lunghi del tre per cento. Io pertanto terrò ferma, nel seguito di queste nostre lezioni popolari, la cifra di 12,000, così semplice e così comoda, per esprimere il rapporto approssimato fra la distanza media dal sole alla terra, ed il diametro medio della terra stessa; facendo così alla correzione del 1864 la piccola concessione di sostituire al raggio equatoriale della terra il raggio medio, minore di quello nel rapporto di un seicentesimo incirca. Attenderemo dalla media di molte altre osservazioni di Marte, o dalle osservazioni dell'imminente passaggio di Venere, l'8 Dicembre 1874, una determinazione più sicuramente vicina al vero.

Si ha intanto una bella conferma che la media delle

due dianzi accennate stime della distanza del sole non si allontana molto dal vero, nelle esperienze relative alla velocità della luce. Roemer astronomo Danese osservò che le ecclissi del primo satellite di Giove anticipavano di una certa quantità di tempo, cui egli stimò di 11 minuti, ma che più veramente è, secondo Struve, otto minuti e diciotto secondi, sopra il momento assegnato a tali ecclissi nelle effemeridi di Cassini, quando Giove è in opposizione col Sole; e che presentano invece un egual ritardo quando Giove è in congiunzione col sole, e quindi la sua distanza da noi è aumentata di tutto il diametro dell'orbita terrestre. Roemer giustamente riputò che questa differenza totale di diciassette minuti, o ventidue com'egli li stimava, non sia altra cosa che il tempo impiegato dalla luce a percorrere il diametro dell'orbita terrestre. Ora, se è nota la distanza del sole, e quindi il diametro dell'orbita terrestre, è facilissimo il dedurre da questo dato, e dalle anticipazioni o ritardi delle ecclissi dei satelliti di Giove, la velocità della luce: ma per converso, quando sia nota per altra via la velocità della luce, se ne può dedurre la distanza del sole dalla terra. Ammessa la parallassi del 1769, la velocità media della luce è prossimamente 310 mila chilometri al secondo; ammessa la parallassi del 1864, la velocità della luce sarebbe prossimamente di trecento mila chilometri al secondo. Due ingegnosi fisici Francesi, Foucault e Fizeau, con due diversi mezzi, hanno sottoposto ad un diretto esperimento la velocità della luce. Foucault, per mezzo di specchi rapidamente giranti, l'ha trovata di 298 mila chilometri al secondo, e perciò in prossimo accordo colla parallassi del 1864. Fizeau con una ruota dentata rapidamente girante, ed uno specchio alla distanza di 8634 metri, trovò la velocità della luce 312 mila chilometri al secondo, e così in un accordo egualmente prossimo

colla parallassi del 1769. Certa cosa è che tutte e due le esperienze, specialmente quella del Foucault, la quale è un' esperienza di gabinetto, sono soggette a limiti di errore proporzionatamente assai più larghi che la mediocre differenza del tre per cento: ma i due esperimenti non cessano per questo di aggiugnere una conferma da non disprezzarsi alla probabilità, la quale già sussisteva per altre ragioni, che la vera e precisa parallassi del sole non può allontanarsi gran fatto nè da quella del 1769 nè da quella del 1864. Vero è ancora che può nascere il legittimo sospetto che la velocità della luce nell' aria sia alquanto minore di quella ch' essa ha nell' etere. Abbiamo però una splendida prova della uniforme e costante velocità della luce nell' etere, dalla così detta aberrazione della luce, la quale segue una legge uniforme in tutte le stelle, qualunque sia la loro posizione e la loro distanza.

Il diametro apparente del sole è noto con molto maggior precisione e sicurezza che la distanza. Sappiamo di certo che la distanza è in ragione inversa del diametro apparente. Così le variazioni del diametro apparente del sole condussero Keplero alla certa cognizione che la terra descrive attorno al sole una ellissi, della quale il sole stesso occupa un fuoco; e si conobbe con precisione la forma e l' eccentricità di questa ellissi prima ancora di conoscerne la grandezza assoluta. Il minimo e massimo diametro apparente del sole variano nel rapporto di 30 a 31 incirca; donde si trae la conseguenza che la distanza massima della terra dal sole supera la distanza minima di un trentesimo incirca.

Il diametro medio del sole è, come quello della luna, un po' più di un mezzo grado. Più precisamente, allorchè noi ci troviamo alla nostra distanza media dal sole, cioè ad una distanza eguale al semiasse maggiore dell'orbita,

il diametro apparente del sole è 31 minuti e 56 secondi: cosicchè ci vorebbero 676 soli eguali, posti in fila ed a contatto uno coll'altro, a quella distanza a cui si trova l'unico sole, per formare un cerchio continuo attorno alla terra. Ci vorrebbero, per formare in simil modo un cerchio continuo attorno alla terra, 690 lune.

Il sole è il corpo più perfettamente rotondo che si conosca in natura. La sua rotondità sferica però non può essere assoluta, ed a rigore geometrico. Deve egli pure aver uno schiacciamento ai poli, per cagione della rotazione attorno al suo asse, la quale compiesi in un periodo di 25 giorni ed un terzo. Ma questo schiacciamento è insensibile agli occhi nostri, anche sussidiati dai migliori istrumenti. Data la cognizione del diametro apparente, noi possiamo con perfetta sicurezza assegnare la cifra della distanza del sole, preso per unità il suo diametro reale, qualunque sia la parallassi. La distanza media dal centro del sole al centro della terra eguaglia 107 diametri del sole, e 23 centesimi. Dal diametro apparente poi, e dalla distanza del sole espressa in raggi terrestri, si deduce il rapporto fra il volume della terra e quello del sole. Ammesso che la distanza sia ventiquattromila raggi terrestri, ne segue che il diametro reale del sole è fra 111 e 112 diametri della terra; più esattamente

111·59.

Posto questo fatto, la Geometria ci dà la superficie del sole eguale a 12452 volte la superficie terrestre, ed il volume eguale ad un milione e 389 mila, o quasi un milione e quattrocento mila volte il volume della terra.

Ove si ammetta la parallassi del 1864, con un tre per cento di meno nella distanza, di quella calcolata dietro le osservazioni del 1769, bisogna detrarre il sei per cento alla superficie, ed il nove per cento al volume

del sole, calcolati come dianzi. Secondo la parallassi ammessa da Leverrier, da Hind, da Winnecke e da altri astronomi viventi, cioè quella che io chiamo per brevità la parallassi del 1864, il diametro del sole non sarebbe che 108 volte e mezza più grande di quello della terra. Così il diametro del sole sarebbe incirca una media proporzionale fra il diametro della terra e la distanza interposta fra i centri della terra e del sole. Questa singolare relazione verificherebbesi ad ogni modo, con qualche approssimazione, benchè minore, anche secondo la parallassi del 1769: cioè il diametro della terra sta incirca al diametro del sole, come il diametro del sole sta alla distanza fra il sole e la terra.

Una delle più ammirabili applicazioni della teoria neutoniana della gravitazione universale consiste nel farci abilità di calcolare la massa o peso assoluto del sole e dei pianeti: ben anche delle stelle doppie di nota distanza. Perciò nell'Abbazia di Westminster a Londra, sul sepolcro di Newton, è scolpita in marmo una stadera, che rappresenta la pesata del sole, servendo i pianeti da marchio. Ammessi i due principii fondamentali, che l'attrazione è in ragion diretta della massa ed in ragione inversa del quadrato della distanza, basta paragonare il tempo impiegato da un pendolo a fare la sua oscillazione in forza dell'attrazione della terra, col tempo impiegato dalla terra stessa a compiere il suo giro attorno al sole, per inferirne che la massa del sole è prossimamente 355 mila volte più grande che la massa della terra. Siccome si sa che la terra pesa poco meno di sei quadrilioni (Lez. I, pag. 29) di chilogrammi, ne segue che il sole pesa più di due quintilioni di chilogrammi. Se volete una cifra più esatta, in accordo colla parallassi del 1769, la massa del sole equivale a

2, 096 000, 000 000, 000 000, 000 000, 000 000 chilogr.

Quale enorme e maraviglioso globo è invero il Sole! Ove, si preferisca la parallassi del 1864, fa d' uopo detrarre anche alla massa, come al volume, il nove per cento incirca: ma il sole rimane contuttociò ad ogni modo una cosa stupendamente grande.

Più generalmente ancora che le enormi dimensioni del sole, eccita lo stupore di tutti la strabocchevole copia di luce e di calore che ne emanano. Formerà oggetto di una futura lezione il problema relativo all' origine del sole, della sua luce e del suo calorico. Oggi stringerò in breve alcune delle più notabili cognizioni che recentemente si sono acquistate intorno allo stato fisico del gran luminare.

Alcuni han preteso che la parte centrale e maggiore, chiamata il nucleo, del sole sia solida: supposizione inammissibile a cagione della straordinaria temperatura del sole, e della permanenza di tale alta temperatura alla superficie. Se il nucleo fosse solido, il calore alla superficie, colla enorme e continua dispersione alla quale esso va soggetto, esaurirebbesi in breve, e la superficie stessa diventerebbe, o da lungo tempo sarebbe già divenuta fredda come quella della terra. È necessario che lo stato liquido permetta il rimescolamento continuo della massa, mediante la discesa delle molecole raffreddate ed il riascendere delle molecole più calde; e che l' immenso deposito originario di calorico, del quale è fornita la massa del sole, contribuisca con una straordinaria e non mai interrotta attività a mantenere l' alta temperatura della superficie, affinchè questa possa continuamente espandere i benèfici raggi per l' Universo.

Ammettiamo dunque che il nucleo del sole, cioè il sole propriamente detto, quello che ci apparisce come un rotondo disco così ben definito, è una immensa massa sferica di materia liquida ed incandescente. Certa cosa è

però che al i sopra di questo oceano liquido ed ardente, formato dalle sostanze meno volatili, avvi una grandissima atmosfera, costituita dalle sostanze più atte a mantenere lo stato aeriforme anche sotto una grandissima pressione. Le osservazioni della corona, durante le ecclissi, mostrano che l' altezza dell' atmosfera solare è grandissima, probabilmente più di trecentomila chilometri. Gli strati inferiori adunque dell' atmosfera solare devono essere soggetti ad una pressione spaventosamente grande, e comunicarla agli strati superiori dell'oceano solare. Ed invero si richiede una pressione straordinariamente forte per render possibile agli strati superficiali dell' oceano solare il rimanere nello stato liquido, malgrado l' altissima temperatura.

Per poter salvare la chimerica idea degli abitanti del sole, Wilson dapprima, poi Herschell, imaginarono che la principal porzione del sole fosse solida, oscura, e fredda, ma circondata da tre atmosfere di diversa natura, la media delle quali sia la sede e la sorgente del calore e della luce del sole, e che l' atmosfera più interna e più bassa abbia per missione di proteggere, a guisa di vasto ombrello, gli abitanti del sole dai cocenti ed abbaglianti raggi dell'atmosfera di mezzo. A questa danno lo special nome di *fotosfera*, come a dire sfera della luce. Se è stato detto che anche il grande Omero è qualche volta ineguale a sè stesso,

. . . . . . « *quandoque bonus dormitat Homerus,* »

certamente può dirsi ancora che questa barocca ipotesi della fotosfera, e delle altre due atmosfere, benchè patrocinata da una mente superiore come quella di Guglielmo Herschell, e per l'autorità di lui adottata sino a ieri da astronomi e fisici di seconda classe, ma pur valenti, non è degna di loro. È un fatto sperimentale che l' altissima temperatura non va mai scompagnata da un

grande svolgimento di luce, e viceversa: dunque la fotosfera, se c' è, sarà altresì *termosfera*, cioè sorgente insieme di calorico e di luce; ed io affermo e sostengo che ambedue queste principali ed esenziali funzioni del sole sono affidate a tutto intero il gran globo, e non ad una piccola e secondaria sua porzione soltanto, come l' atmosfera. D' altra parte è un principio elementare e certissimo della Fisica, che la temperatura tende sempre ad equilibrarsi nei diversi corpi posti in presenza uno dell' altro (Lez. XXII); imperciocchè il più caldo cede infallantemente una parte del suo calore al corpo più freddo, cosicchè quest' ultimo finisce coll' arrivare ad una temperatura comune col primo, eccettuato il caso che il secondo corpo vada perdendo da altra parte il calore cui viene acquistando dal primo. Ora se il nucleo del sole in origine fosse stato più freddo dell' atmosfera, questa non avrebbe mancato di riscaldare il nucleo; il quale, circondato com' è d' ognintorno dalla sua atmosfera, non può perder calore da alcuna parte, salvochè dandone all'atmosfera medesima. Se dunque il nucleo, invece di donarne avesse ricevuto del calorico dall'atmosfera solare, il nucleo non avrebbe guari tardato a porsi alla stessa temperatura dell' atmosfera; e siccome poi questa perde di continuo, per raggiamento verso i freddi ed immensi spazii etèrei, una quantità di calorico incomparabilmente maggiore di quanta gliene possano restituire gli aeroliti che cadono nel sole, così è certissima cosa che l'atmosfera solare ha bisogno di ristaurarsi continuamente del perduto calorico a spese del nucleo; e che perciò il nucleo è da lungo tempo, rimane tuttora, e sempre rimarrà finchè duri il sole, più caldo della sua atmosfera.

Nella seconda delle mie lezioni date nell' Arena di Milano in Agosto del 1868 (*), mostrai che avvi in tutto

(*) L' ordine da me adottato in questa pubblicazione,

il corpo del sole un immenso cumulo di calore; conciossiachè la quantità totale di calorico, corrispondente alla forza viva perduta dai varii elementi che accozzaronsi insieme per formare il sole, fu di sessanta sestilioni di unità di calorico. Seguo sempre la nomenclatura numerica Italiana, Tedesca ed Inglese, non la Francese, (Lezione I.) ed intendo per *sestilione* la *sesta* potenza del milione, non già la settima potenza del mille. E siccome il sole spande ogni anno due quintilioni e mezzo di calorie, ne segue che quella originaria provista di sessanta sestilioni di calorie basterebbe a mantenere una distribuzione costante ed uniforme di calorico, pari alla distribuzione attuale, per l' ingente periodo di ventiquattro milioni di anni.

L' atmosfera del sole ha un' estensione non solo assolutamente grandissima, avendo un'altezza di non meno che trecentomila chilometri, come già dissi, ma anche relativamente e proporzionatamente assai più grande delle atmosfere dei pianeti: imperciocchè l' atmosfera della terra innalzasi appena ad una trentesima parte del raggio terrestre, mentre quella del sole innalzasi ad un' altezza per lo meno di un terzo o di metà del raggio solare, e probabilmente di più ancora. Infatti nelle ecclissi totali di sole il globo oscuro della luna apparisce circondato da una grande corona od aureola, formata di raggi divergenti, luminosa quanto la luna piena, e di un'altezza eguale ad un terzo almeno o ad una metà del raggio del sole. Questa corona od aureola non è altro che l'atmosfera stessa del sole, o più probabilmente la parte a noi

preferibilmente a quello con cui furono pronunciate le lezioni, vuole che quella sia differita alla quarta parte o sezione, ove tratterò più generalmente della Cosmogonia.

visibile dell'atmosfera solare. Questa è resa a noi visibile nelle ecclissi non tanto forse dalla incandescenza propria dell'atmosfera solare, quanto dalla luce molto maggiore cui in parte ella assorbe ed in parte riflette dal sottoposto nucleo solare. Il polariscopio (Lez. XXXXVII, pag. 115) mostrandoci la polarizzazione della luce a noi trasmessa dall'aureola delle ecclissi solari, conferma l'idea, anche altronde plausibile, che quella è principalmente luce riflessa.

L'intensità della luce del nucleo solare è forse un milione di volte maggiore di quella della sua atmosfera; imperciocchè dalle osservazioni fotometriche sinora eseguite, benchè sfortunatamente imperfette, la luce totale a noi mandata dal sole risulta parecchie centinaia di migliaia di volte superiore a quella della luna piena: secondo Wollaston ottocentomila volte.

I raggi del sole hanno tre importantissimi ufficii: essi diffondono il calorico, la luce, e l'azione chimica. Per altro, secondo le dottrine fisiche più recenti, i raggi calorifici, luminosi, e chimici del sole, non differiscono totalmente come da genere a genere, ma soltanto pel maggiore o minor numero, a cui corrispondono, di vibrazioni dell'etere in un dato tempo. I diversi gradi di calorico raggiante, i diversi colori, i raggi chimici, si considerano oggi come note distinte, più o meno alte, di una medesima scala musicale. Le note più basse, o corrispondenti alle più lente vibrazioni, sarebbero quelle del calorico, i cui raggi più efficaci sogliono coincidere, nello spettro, col color rosso, o passare invisibili al di fuori del rosso: le note medie sarebbero quelle dei sette colori, incominciando dal rosso, che è per così dire fra i sette colori ciò che è l'*ut*, o *do*, fra le sette note musicali, sino al violetto, che ne è in qualche guisa il *si;* le note ottiche più alte od acute, o corrispondenti

alle più rapide vibrazioni, sarebbero i raggi chimici, i quali nello spettro manifestano la loro maggiore energia dalla parte dei colori più rifrangibili, od anche trapassano invisibili al di là del violetto.

Io ammetto appieno che la rapidità media delle vibrazioni diversifichi notabilmente fra i raggi calorifici, luminosi, e chimici, od attinici, ma non credo che manchino per questo altre differenze anche più sostanziali fra le diverse specie di raggi.

In mezzo a quel grande oceano di luce solare si distinguono alcune speciali circostanze di illuminazione, chiamate dagli astronomi *macchie, fàcule, lùculi, corona, protuberanze.* Bisogna conoscere il significato di queste diverse parole.

Guardando al Sole con un cannocchiale di mediocre forza, la cui lente oculare sia accompagnata da un vetro colorato, per diminuire l' eccessiva forza dello splendore e renderlo sopportabile all' occhio, le macchie compariscono come tanti punti neri, sparsi irregolarmente sul disco, ma principalmente in una zona di trenta gradi al di qua e al di là dell' equatore solare, il quale è inclinato di 7° 9' al piano dell' ecclittica. Sono pochi i giorni nei quali il sole sembri scevro di macchie. Osservate con dei telescopii di maggior potenza, le macchie si scorgono composte di due parti ben distinte: avvi la parte centrale che apparisce perfettamente nera, pel contrasto, e si può considerare come la macchia propriamente detta: poi avvi attorno ad essa un largo contorno grigio, chiamato impropriamente penombra. La larghezza di quest' orlo o penombra suol essere eguale o poco maggiore del diametro della macchia propriamente detta. La penombra è ornata di una moltitudine di solchi rettilinei o strie, più luminose del resto della penombra, e convergenti verso la macchia propriamente detta. Secondo

la stima fotometrica di Herschell, rappresentando col numero 1000 il grado di illuminazione generale del disco, l'intensità della luce della penombra non sarebbe che 469, o meno della metà della intensità media della luce solare, e quella delle parti più scure della macchia centrale ridurebbesi a 7, od un centoquarantesimo dello splendore medio del disco.

In generale l'intensità della luce è alquanto maggiore verso il mezzo del disco solare che presso il perimetro: differenza dovuta senza dubbio in gran parte all'atmosfera del sole, per altra parte alla maggiore attività delle eruzioni dal nucleo del sole nella regione equatoriale, dove sono le più potenti maree solari. (Lezione LII.). Le macchie variano sensibilmente di forma e di grandezza in pochi giorni, talvolta in poche ore. Dal moto apparente delle macchie, prendendo il risultato medio di un gran numero di osservazioni per eliminare l'effetto dei movimenti individuali delle macchie, si è potuto argomentare che il sole ruota attorno al proprio asse in un periodo di 25 giorni ed otto ore prossimamente. Ma siccome contemporaneamente la terra gira attorno al sole in un anno, e nella direzione stessa del moto rotatorio del sole, la rivoluzione *sinodica* del sole, cioè il periodo della sua rivoluzione apparente, rispetto alla terra, è prossimamente di 27 giorni ed un terzo. Alcune macchie sono ancora individualmente riconoscibili al loro ritorno dalla nostra parte, dopo i tredici o quattordici giorni passati dalla parte a noi invisibile del sole.

Le fàcule sono l'inverso delle macchie, cioè parti più luminose che il resto del disco. Fu supposto dapprima che tanto le macchie come le facule possano essere pianeti che passino sopra il disco del sole. Una tale ipotesi viene esclusa dalla circostanza che tanto le

macchie quanto le facule si muovono secondo l'andamento generale della rotazione dell'astro. Galileo inoltre fece la sagace riflessione, contro al supposto che le facule sieno pianeti, non potersi ammettere dei pianeti più risplendenti del sole. Da ben ragionate considerazioni di prospettiva in quanto alle macchie, e dalla osservazione delle facule sulla periferia del disco solare nelle ecclissi, si è acquistata la certezza che le macchie sono grandi cavità od abissi di forma conica; e che le facule sono reali prominenze, od almeno vicine a delle prominenze gazzose le quali elevansi sulla superficie del sole.

La superficie generale del disco, nelle parti dove non sono nè macchie nè facule, è variegata da una moltitudine di piccole rugosità, simili a quelle di un arancio, o come il fondo a linee incrociate di un' incisione a bulino. Le parti più luminose, ed apparentemente o realmente più prominenti, di questo gran campo ondulato, sono quelle alle quali si è dato il nome di *lùculi.*

Ho già indicato che cosa s'intenda sotto il nome di corona od aureola; cioè l'aspetto offertoci, nelle ecclissi totali di sole, dalla vastissima e luminosa atmosfera del sole, invisibile a noi nelle circostanze ordinarie, a cagione della debolezza relativa della sua illuminazione. Essa nondimeno rendesi in parte sensibile anche in giorni ordinarii, mercè il nuovo metodo delle ecclissi artificiali trovato da Janssen. Le protuberanze infine sono fenomeni di forma e posizione corrispondente al loro nome, che si manifestano entro la corona, in una ecclissi naturale od artificiale, proiettandosi sul contorno del sole a grandissime altezze: alcune perpendicolarmente, altre inclinate e curvilinee, a guisa di fontana che erompe obliquamente, e descrive la sua parabola. Le protuberanze manifestansi principalmente in prossimità delle macchie e delle facule.

Le novelle teorie, da me svolte nelle precedenti lezioni, circa le meteore terrestri di origine vulcanica, ci rendono facile la spiegazione dei principali fenomeni testè descritti, i quali sinora han tanto intricato e diviso gli astronomi. Le azioni e reazioni chimiche, già così possenti in seno all'oceano plutonico del nostro pianeta, debbono prodursi con una violenza sterminatamente maggiore nel sole, non tanto a cagione della grandissima massa, quanto per la temperatura di gran lunga più alta. Ora come abbiam veduto che una locale diminuzione di calorico, e quindi di tensione, nei fluidi sotterranei, dà origine in terra ad una meteora di aspirazione e di assorbimento, ed il locale aumento di calorico e di tensione fa nascere una meteora eruttiva, gli stessi fatti debbono prodursi in una scala milioni di volte più grande nel sole. Le macchie sono le gigantesche Scille e Cariddi, i giganteschi Maëlstrom, i giganteschi cicloni del sole; le facule e le protuberanze ne sono le immense trombe marine, i vulcani un milione o molti milioni di volte ingranditi. I luculi possono essere le cime ondulate delle nubi prodotte nell'atmosfera solare dalla precipitazione dei vapori continuamente eruttati dal nucleo, e raffreddati dal raggiamento verso gli spazii celesti.

Spieghiamo meglio come una diminuzione locale di temperatura e di pressione nell'intera massa del sole deve generare le macchie.

Non ci è dato di conoscere con precisione la temperatura media del sole, perchè questo è un problema doppiamente indeterminato. Sarebbe un problema determinato e di facile soluzione, se noi conoscessimo questi due elementi del problema, la quantità assoluta di calorico attualmente contenuta nel sole, ed il calore specifico medio della sua massa. Intorno alla quantità assoluta di calore, noi sappiamo soltanto che essa non può oltrepas-

sare nè raggiugnere un certo limite superiore, cioè sessanta sestilioni di calorie, che è la quantità totale del suo originario calorico di formazione; ma non sappiamo poi quale e quanta parte di questo calorico primitivo siasi dispersa durante il lungo periodo di formazione, e durante il periodo susseguente, dopo che il sole fu giunto prossimamente alle attuali sue dimensioni. Neppur conosciamo il medio calorico specifico della sua massa, non solo perchè non abbiamo un' idea sufficientemente esatta degli elementi che la compongono, e delle loro proporzioni, ma più ancora perchè il calorico specifico varia sensibilmente per una grandissima variazione di temperatura.

Se nel sole esistesse attualmente la terza parte del calore di formazione, ed il suo calorico specifico fosse eguale a quello del ferro, od un nono incirca di quello dell' acqua, la temperatura media del Sole sarebbe prossimamente eguale a venti sestilioni divisi per la massa, o due quintilioni di chilogrammi, e moltiplicati per nove, cioè a novanta milioni di gradi. La temperatura media dell' atmosfera solare, benchè altissima in paragone della temperatura dell' atmosfera terrestre, pure dev' essere moltissimo inferiore alla temperatura media del nucleo del sole. Imperciocchè l' estremo limite superiore dell' atmosfera solare è in contatto cogli spazii eterei, la cui temperatura generale si suppone di 140 gradi sotto lo zero. Forse anche l' etere in vicinanza del gran focolare sarà più caldo che altrove; ma non può esservi dubbio che l' atmosfera del sole sarà di moltissimi gradi al di sotto della temperatura media del nucleo, a cagione della strabocchevole quantità di calorico raggiante perduto dall' atmosfera solare.

Per la stessa ragione la superficie del sole propriamente detto, cioè la superficie dell' oceano solare, sarà

bensì molto più calda dell' atmosfera solare, ma molto al di sotto della temperatura media del nucleo. Imperciocchè la quantità di calorico trasmessa da un corpo caldo al suo recinto, in un dato tempo, è incirca proporzionale alla superficie, ed alla differenza di temperatura fra il corpo che si raffredda ed il recinto. Perchè possa esser grandissimo il flusso di calorico, bisogna che sia grande anche la differenza delle due temperature. Se non esistesse una gran differenza di temperatura dal nucleo alla superficie, e dalla superficie all' atmosfera, il sole cesserebbe in breve tempo dal lanciare come fa in tutte le direzioni una straordinaria quantità di calore. Quello della superficie esaurirebbesi tosto, ove le sue perdite non fossero prontamente risarcite dal nucleo; ma affinchè il calorico del nucleo possa continuamente affluire alla superficie fa di mestieri che questa sia più fredda del nucleo, conciossiachè tale è la legge del calorico: evvi equilibrio fra due corpi di eguale temperatura; non si dà movimento e flusso di calorico che dal corpo più caldo al più freddo; ed il passaggio del calorico è tanto più rapido ed abbondante quanto maggiore è la differenza delle due temperature.

Per agevolare il nostro ragionamento generico, valiamoci di numeri ipotetici. Supponiamo che la temperatura media del nucleo sia quaranta milioni di gradi; la temperatura media della superficie liquida un dieci milioni di gradi. Tale infatti è il limite inferiore possibile assegnato dal Secchi, dietro un altro ordine di considerazioni, alla temperatura superficiale del sole. Supponiamo la temperatura media dell' atmosfera solare un centomila gradi. Imaginiamo di più, che per una combinazione chimica qualunque la temperatura di una parte della massa interna, eguale ad un milionesimo dell' intera massa, discenda un centinaio di gradi. Sono esigue cose,

pel Sole, benchè quella piccola porzione della massa solare avrebbe un volume più grande di quello della terra, e la variazione di un centinaio di gradi, in più od in meno, alla superficie della nostra terra, ucciderebbe tutti gli animali e tutte le piante. Se la formola di Dulong e di Arago:

$$F = (1 + 0.715\ t)^5,$$

la quale suppone la forza elastica del vapore, stimata in atmosfere, proporzionale prossimamente alla quinta potenza della temperatura, contata per unità di cento gradi l' una al di sopra dell' acqua bollente, e che si verifica abbastanza bene, sperimentalmente, sino a 24 atmosfere, fosse applicabile anche a delle temperature di milioni di gradi, la tensione del vapore acqueo alla temperatura di quaranta milioni di gradi, sarebbe più di mille ed ottocento quadrilioni di atmosfere: ed il calo di un centinaio di gradi soltanto al di sotto della temperatura di quaranta milioni di gradi, porterebbe una diminuzione di di più che dugento mila trilioni di atmosfere nella tensione del vapore. Di vero non c' è a fidarsi menomamente di tali cifre neppure per una larga approssimazione, essendo elleno fondate sopra una formola empirica applicata ad una enorme distanza dai limiti pei quali fu calcolata. Pur nondimeno queste formole e cifre tutte ipotetiche ci aiutano a comprendere in genere che la variazione locale anche di pochi gradi nella temperatura di una parte interna del sole può cagionare una variazione eccessivamente grande nella tensione dei vapori elastici che sonosi già svolti o tendono a svolgersi dalla massa liquida. Il sole può considerarsi come un' immensa caldaia in ebullizione, e le accidentalità sempre variate di questa ebullizione producono degli sconvolgimenti quotidiani nel sole, di così colossale imponenza, che al paragone di essi i più terribili cataclismi

che la geologia ci insegna essere avvenuti sulla nostra terra nelle sue più remote età, sono veracemente come tempeste in un bicchier d'acqua.

Una diminuzione di tensione equivale ad un vuoto virtuale, e la pesantissima atmosfera solare si precipita verso di esso per colmarlo. Succede allora nella immensa caldaia del sole qualche cosa di analogo al mirabile e quasi paradossale effetto dell'iniettore Giffard nelle locomotive. Appena le colonne dell'atmosfera solare, più fredda del nucleo, cominciano a mescolarsi con esso, vi determinano un abbassamento di temperatura, condensando i liquidi incandescenti, ciò che li fa scendere più giù verso il centro; e l'abbassamento di tensione chiama una sempre nuova quantità di colonne atmosferiche comparativamente fredde, con un effetto il quale sviluppa le forze necessarie alla sua propria continuazione per un tempo indefinito.

Imaginatevi che sopra una grandissima lastra di ferro incandescente si facesse passare un ruscello di acqua. La lastra raffreddandosi passerebbe suscessivamente dal calor bianco al calor rosso, poi al rosso bruno, ed infine non emanerebbe più luce affatto. Così gli strati superficiali dell'oceano solare, i quali avevano per ipotesi una temperatura di dieci milioni di gradi, assorbendo per un seguito di ore o di giorni dei gas che hanno una temperatura di cento mila gradi soltanto, raffredderannosi per necessità: prenderanno per esempio una temperatura di un mezzo milione di gradi, invece di quella di dieci milioni cui avevano. Or se l'alta temperatura è a un di presso proporzionale alla luce emanata, presentemente questi strati superiori dell'oceano solare non emaneranno più che la ventesima parte della luce cui emettevano prima; ossia avranno uno splendore venti volte più debole che lo splendore medio della superficie solare; e pel contrasto ci sembreranno neri. Ecco la macchia.

Ma è ben certo che in un periodo di tempo abbastanza lungo l'eruzione deve essere eguale all'assorbimento, il flusso al riflusso. Quanti gas e vapori comparativamente freddi sono passati per aspirazione dall'atmosfera al nucleo, altrettanti ne devono sorgere, per eccesso locale di elasticità, dall'oceano solare all'atmosfera. Anzi per la stessa ragione per cui un pendolo giunto alla posizione verticale, che sarebbe quella dell'equilibrio, l'oltrepassa, per ritornarvi poscia, ed oltrepassarla nella direzione opposta, così l'assorbimento divenuto eccessivo produrrà dopo poco tempo un'eruzione nel medesimo od in prossimo luogo. Ora i gas e vapori ardenti nell'erompere dalle viscere del sole portano con sè l'altissima temperatura del nucleo; laonde continuando l'eruzione per ore e giorni, gli strati superficiali dell'oceano solare attraverso ai quali succede l'eruzione, debbono riscaldarsi, e passare per esempio dalla loro abituale temperatura di dieci milioni di gradi ad una temperatura di quindici milioni. Se dunque l'emissione di luce anche qui è proporzionale al raggiamento di calorico, questi strati superficiali diverranno più luminosi del loro solito, ossia avranno uno splendore più abbagliante che lo splendor medio della superficie solare. Eccovi le facule.

Non debbo compiere questa lezione, senza parlare almeno in succinto delle ammirabili scoperte che si sono fatte recentemente circa la costituzione chimica del sole, mediante l'analisi spettrale, insigne scoperta del Kirchoff.

L'immortale scopritore dell'attrazione universale fece ancora la più fondamentale scoperta dell'ottica, mostrando come la luce del sole sia composta di innumerevoli raggi elementari di diversa refrangibilità, e di diversi colori: i quali colori però riduconsi principalmente a sette; e questi sono, seguendo l'ordine dalla minore alla maggiore refrangibilità: rosso,

arancio, giallo, verde, turchino od azzurro, indaco, violetto.

Sono i sette famosi e vaghissimi colori dell'iride od arcobaleno (Lezioni XXIV, e XXXXVII). Facendo passare un raggio o fascio di luce bianca attraverso ad un prisma triangolare di vetro, od altra materia trasparente, i colori elementari che uniti formavano la luce bianca, soffrono una diversa refrazione, ossia piegansi in differente grado, rifrangendosi il raggio arancio più del rosso, il giallo più dell'arancio, e via dicendo: quindi, trapassato il prisma, si separano.

Se si fa l'esperienza in una camera oscura, introducendovi un fascio di luce del sole per un foro praticato nella imposta chiusa di una finestra, e dopo che quel fascio di luce ha traversato il prisma, lo si raccoglie sopra una parete bianca, si osserva sopra di essa una graziosa figura allungata, alla quale si è dato il nome di spettro. In questo spettro, il quale, malgrado il brutto nome, è cosa da allettare gli sguardi non meno che istruire la mente, se il prisma è collocato nella maniera più acconcia all'osservazione, si vede al di sotto il color rosso, un po' più in su l'arancio; più alto ancora il giallo, e più alto di tutti, o più deviato, il violetto. Questi sette principali colori però non sono nettamente separati, ma il trapasso dall'uno all'altro avviene per mezzo di graduali ed insensibili sfumature.

Questi semplicissimi fatti, relativi ai colori dell'iride, sono ben noti a chiunque abbia studiato i primi elementi della Fisica, anche molti anni or sono, ma era utile al proposito mio il rammentarli. Accennerò ora i principali fatti che costituiscono più particolarmente la teoria affatto recente dell'analisi spettrale.

Quelle sette liste principali dello spettro solare, la rossa, l'aranciata, la gialla, e le altre, sono interrotte

da una moltitudine di sottili righe orizzontali, comparativamente oscure, ossia nere, chiamate le righe di Fraunhofer, dal nome del principale scopritore.

Le luci che si ottengono, abbruciando o rendendo luminosi i corpi per alta temperatura, producono degli spettri diversi e distinti per ciascun corpo. Vi possono essere tutti, o parte soltanto dei sette colori principali, ma la differenza consiste principalmente nel numerò, nella posizione e nella qualità delle sottili righe trasversali. La differenza degli spettri luminosi dipende principalmente dalla differente composizione chimica dei corpi. Perciò l' esame degli spettri dei diversi corpi resi luminosi, è divenuto un potente e delicatissimo mezzo di riconoscere la composizione chimica dei corpi; ed è appunto questo metodo che si chiama l' analisi ottica o spettrale. Per mezzo di essa si sono persino scoperti dei nuovi metalli, come il rubidio, il cesio, l' indio, il tallio.

Ma ciò che è riuscito ancora più inaspettato e maraviglioso, si è che l' analisi ottica ci ha aperto un vastissimo campo per iscoprire gli elementi chimici che compongono non solo i corpi terrestri, ma ben anche il sole, e gli altri corpi celesti.

È necessario il conoscer prima questo fatto fondamentale, che avvi un importantissimo carattere generale, il quale distingue lo spettro dei corpi aeriformi, da quello dei liquidi e dei solidi. Si è trovato per esperienza, che la luce emanata direttamente dai corpi solidi, o liquidi, ci dà, dopo aver traversato il prisma, uno spettro continuo, cioè uno spettro dove possono essere tutti o parte dei colori principali dell' iride, contigui uno all' altro, nel solito ordine, ma senza alcuna interruzione, cioè senza le righe del Fraunhofer. Per lo contrario lo spettro dei corpi aeriformi, cioè dell'aria, dei gas, e dei vapori, resi incandescenti, mostra delle righe trasversali, ana-

loghe a quelle dello spettro solare, ma con questa grande e capitale differenza, che invece di essere nere od oscure, come nello spettro del sole, sono diversamente colorate e luminose, più risplendenti che il resto dello spettro.

Nè qui termina la meraviglia. Se la luce di un corpo solido o liquido, allo stato di incandescenza, si fa passare prima attraverso ad un corpo aeriforme, vapore o gas, e poscia attraverso al prisma, appariscono nello spettro le oscure righe trasversali, come nello spettro solare; e si è osservato che le righe oscure, in siffatto caso, appariscono precisamente in quelle posizioni dove apparirebbero le righe luminose del gas solo, quando questo fosse reso incandescente.

Di qui si è subito corso a trarre la conseguenza che le righe oscure dello spettro solare provengono da questo, che i raggi luminosi del principal corpo del sole, liquido o solido, arrivano a noi traversando l'atmosfera propria del sole, e l'atmosfera della terra. Le righe nere provenienti dall'assorbimento od estinzione di alcuni fra i raggi solari per parte dell'atmosfera della nostra terra, dette perciò righe telluriche, si sono distinte da quelle propriamente dovute all'atmosfera del sole, osservando a diverse elevazioni del gran luminare sull'orizzonte, e a diverse altezze dell'osservatore sul livello del mare.

Era già un risultato interessante, questa conferma di ciò che avevamo altre ragioni di supporre, l'esistenza di un'atmosfera solare: ma il risultato più importante e nuovo sta in questo, che ci è dato di conoscere, od almeno argomentare con non lieve grado di probabilità, alcuni dei principali elementi chimici della massa solare. Imperciocchè confrontando le righe oscure dello spettro solare, dipendenti dall'azione dell'atmosfera del sole stesso, colle righe luminose degli spettri di varii corpi terrestri vaporizzati, si sono riscontrate certe identità o

coincidenze di posizione. Queste coincidenze han condotto i fisici e gli astronomi ad argomentare che nell' atmosfera del sole vi sieno quegli stessi elementi chimici che danno i corrispondenti gruppi di righe luminose negli spettri dei corpi terrestri.

Per tal modo si è argomentato che esistono nel sole il gas idrogene, il vapore acqueo, quindi ancora l'ossigene, i quali in tanta abbondanza si trovano nella nostra terra; il ferro, il nickel, ed il cobalto, tre metalli magnetici, che sogliono predominare negli aeroliti, e che abbondano pure nel nostro pianeta; il calcio, il magnesio, ed il sodio, altri metalli, dei quali pure non avvi penuria, così nella nostra terra, come negli aeroliti, od avanzi delle stelle cadenti.

L' analisi ottica dei pianeti e delle comete, rivela altresì in quei remoti corpi una composizione chimica poco diversa da quella del pianeta che noi abitiamo. L' analisi spettrale sembra pur confermare la mancanza di un' atmosfera nella luna, e la presenza di un' atmosfera attorno ai pianeti primarii Venere, Marte, Giove, e Saturno. Le atmosfere di quei pianeti avrebbero una certa analogia di composizione chimica coll' atmosfera terrestre, in ispecie per la presenza del vapore acqueo.

L'analisi ottica indica l'esistenza, allo stato gazzoso, di alcuni dei principali elementi chimici della Terra, anche nelle stelle fisse: per esempio Sirio, Vega, Beteigeuse, Aldebaran, conterrebbero dell' idrogene, del sodio, e del magnesio; le due ultime ancora del ferro, del calcio, e del bismuto. Anche Arturo, la Capretta, Procione, Polluce, conterrebbero il sodio. In generale gli spettri delle stelle si ridurrebbero a pochi tipi, i quali dominano rispettivamente in certe regioni del cielo. Nelle nebulose si sarebbe trovato anche l' azoto, principale elemento dei corpi animali nel nostro pianeta.

Due terzi incirca del numero totale delle nebulose, si confermano composte di separati corpi solidi, poichè producono degli spettri continui, l'altro terzo darebbe degli spettri gazzosi, indicando così che a quei lontanissimi e misteriosi corpi si attagli più propriamente il nome di nebulose.

Io credo però che non bisognerebbe correr troppo ad una siffatta conchiusione, e sospenderne il giudizio, quando la chimica ottica abbia fatto maggiori progressi: imperciocchè insin d'ora è ben ragionevole il sospetto che dei corpi lontanissimi, ed in paragone alla distanza tenuissimi, ma non pertanto solidi, producano, colla loro luce riflessa, sullo spettro, un effetto identico od analogo a quello di un vero gas, ma vicino, le dimensioni dei cui atomi possono avere un rapporto molto maggiore alla distanza di pochi metri di quello che le dimensioni di un solido grosso un metro alla distanza di mille bilioni di miglia.

In complesso la maniera di argomentare a cui si appoggiano le conchiusioni dell'analisi spettrale è lungi dal raggiugnere quella certezza alla quale sempre, benchè troppo spesso invano, da noi si aspira. Le conseguenze che se ne traggono andran soggette inevitabilmente a non poche variazioni e rettificazioni, come la teoria atomistica dell'analisi ordinaria; colla qual teoria i principii dell'analisi ottica hanno più d'un rapporto: ma tengo per fermo che ambedue i metodi, ancorchè forse sotto più di un rapporto non sieno sul terreno della verità assoluta, sono indubitatamente sulla via di essa. Ora anche la sola probabilità che il sole, la terra, e gli aeroliti abbiano in comune molti dei loro principali elementi chimici, conferisce un ulterior grado di probabilità agli altri argomenti in favor dell'ipotesi della quale avremo a parlare più largamente in altra lezione, che i

grandi globi del sole e dei pianeti abbiano avuto origine dal concorso degli elementi, prima dispersi nello spazio, e ricongiunti dalla mutua attrazione.

LEZIONE LV

L'Attrazione universale

Fra tutte le scoperte antiche e moderne, quella che meglio favorisce il connubio, apparentemente così difficile, della Scienza colla Poesia, è il principio dell'attrazione universale, rappresentandoci egli il mondo intero come animato da un invisibile spirito di reciproco amore. Tutte infatti le parti del materiale universo, i grandissimi soli, come le minutissime molecole ed i singoli atomi studiati dalla Chimica, la superficie come le più profonde ed intime latebre dei pianeti e delle stelle, i corpi animati, egualmente che i vegetabili e gli inerti minerali, tutti insomma i corpi attraggonsi l'un l'altro in ragion diretta della loro massa ed in ragione inversa del quadrato della distanza.

L'attrazione si chiama ancora *gravitazione*, perchè la gravità terrestre non è in gran parte che un caso particolare dell'attrazione universale. La gravità, infatti, altro non è se non l'effetto dell'attrazione della massa terrestre, la quale tende a far accostare i corpi al centro della terra, meno il contrario, ma assai più debole, effetto della forza centrifuga dovuta al moto diurno.

Porta il pregio che ci riflettiamo in particolar modo.

Io apro la mia mano che stringeva un sasso: questo sasso cade immediatamente con moto accelerato. Se invece continuassi a stringerlo, sentirei nella mia mano il suo *peso*, cioè lo sforzo ch' egli fa per accostarsi alla terra; e poichè io fo contrasto a questo di lui sforzo, la mia mano ne prova una pressione, il mio braccio uno stiramento; e ne consegue pure un aumento di pressione de' miei piedi contro al suolo: perciocchè una tale pressione è proporzionale al peso del mio corpo, più il peso del sasso o di altro corpo estraneo da me sostenuto. Per qual ragione avviene tutto ciò? Per la ragione che la terra attrae il mio e tutti gli altri corpi posti alla sua superficie. Ma trae ella soltanto quelli che sono alla sua superficie? Se salgo co' piedi alla cima di una torre, o di un' alta montagna, ovvero mi sollevo in aria mediante un globo aereostatico, io sperimento tuttavia gli effetti dell' attrazione terrestre. Sento il peso del mio proprio corpo come quello di qualunque altro corpo che io voglia sollevare o sostenere. I vapori condensati in pioggia od in neve nelle più alte nuvole cadono anche sulle più alte montagne, e di là corrono pei fiumi al mare. Tutt' al più, confrontando colla maggiore accuratezza il numero delle oscillazioni di un pendolo, con un oriuolo a molla, a varie altezze, si riscontra una leggerissima diminuzione della gravità, tanto più sensibile quanto maggiore è la distanza verticale dei due luoghi ove si fa l' esperienza. L' attrazione della terra è dunque forte e molto attiva anche ad otto o nove chilometri almeno, al di sopra della superficie terrestre. Ma forsechè è quello l' estremo limite della gravità? Una tale supposizione sarebbe intrinsecamente inverosimile quand'anche ella non patisse un' aperta smentita dall'Astronomia.

Isacco Newton passeggiava in un orto: egli vide o sentì cadere un pomo dall' albero. La storia, o leggenda

che sia, aggiugne che il frutto gli cadde sopra una spalla. Quel pomo, pensò il grande filosofo, ha fatto una considerevole impressione sui miei sensi, cólla sua caduta da picciola altezza. Che sarebbe se fosse caduto da un'altezza eguale alla distanza della luna? Ma forsechè la gravità potrebbere stendere la sua influenza sino ad una così enorme distanza? E perchè nol potrebb' ella? continuava egli a dire in sua mente. Ma sorgeva spontanea un' obbiezione: se la luna fosse attratta dalla terra, perchè non cadrebbe essa come cadono gli altri corpi gravi? Facile nondimeno era ancora la risposta: la luna mantiensi ad una distanza prossimamente costante dalla terra per quella stessa cagione che non lascia cadere la pietra dalla fionda, mentre questa gira sopra il capo del fromboliere. Huygens aveva già scoperto il bel teorema relativo alla forza centrifuga: esser questa in ragion composta della massa e del quadrato della velocità, diviso pel raggio del circolo (Lez. XV, pag. 181). Considerando che la rivoluzione siderea della luna attorno alla terra compiesi in 27 giorni, 7 ore e 43 minuti, e che la distanza media della luna dalla terra è di 60 raggi terrestri, trovasi agevolmente col calcolo che la forza centrifuga della luna, per la di lei rivoluzione attorno alla terra, è 3600 volte più piccola del peso ch' ella avrebbe se tutta la sua massa fosse alla superficie della terra. Se dunque la forza centripeta della luna verso la terra dev' essere eguale alla centrifuga, ne segue che l'attrazione esercitata dalla terra sulla luna, all'attuale distanza di 60 raggi, è una tremila e seicentesima parte di quella che si avrebbe se la luna fosse distante di un solo raggio terrestre. Ora 3,600 è il quadrato di 60; apparisce dunque da questo primo esempio, che la gravitazione è in ragione inversa del quadrato della velocità. Ma questa regola matematica dell' attrazione deducesi ancora, ed in modo più generale, dalle famose leggi di Keplero, come fra poco vedremo.

Il principio matematico dell' attrazione o gravitazione universale può veramente dividersi in due:

1.° L' attrazione è proporzionale alla massa.

2.° L' attrazione è in ragione inversa del quadrato della distanza.

Ognuno di questi due principii domanda da noi alcuna considerazione più speciale di quella che ne abbiamo fatta sin qui.

È un caso fortunato ma rarissimo nell' insegnamento il poter essere ad un tempo chiaro, esatto, e breve. (Lez. I, pag. 32). Breve espressione invero, è il dire che l' attrazione è proporzionale alla massa. Ma che cosa è la *massa?* Nella meccanica razionale se ne dà una definizione arbitraria, ma di significato preciso, e che serve appieno all' intento di basarvi sopra dei ragionamenti e dei calcoli rigorosi: si chiama massa il rapporto del peso alla gravità, cioè una frazione il cui numeratore esprime il peso, o la pressione esercitata da un corpo sopra un altro che gli impedisce di cadere, ed il denominatore esprime la velocità cui acquisterebbe quello stesso corpo, rimosso l' ostacolo, e cadendo liberamente durante l' unità di tempo, supposto che la forza acceleratrice rimanga costante (Lez. XV, pag. 179, nota). Questa definizione non è sufficiente nella Meccanica celeste, per servire alla dimostrazione della mutua proporzionalità fra l' attrazione e la massa, perchè si commetterebbe il sofisma chiamato dai dialettici *petizione di principio*, o nella definizione o nella dimostrazione.

Facili ad intendersi ad un incirca sono le due definizioni delle quali io stesso mi son valso più volte per amore di brevità dicendo: massa, *o peso assoluto,* massa *o quantità totale di materia:* ma la prima di queste due sinonimie inchiude pure una petizione di principio, e l' altra dà diritto a domandare: *che cosa è*

la materia? In che distinguesi ella dallo spirito, se spirito c' è? La pretesa di rispondere adeguatamente a tali quistioni, ci arrecherebbe maggior impaccio ingolfandoci nella Metafisica, di quello che ci aiutasse a sciogliere una quistione di Fisica. La Chimica ci presta un mezzo più sicuro, benchè non molto breve nè molto comodo, di spiegare con assoluta esattezza e precisione il cànone neutoniano relativo alla massa ed all' attrazione.

La Chimica riguarda tutti i corpi come composti di un numero strabocchevolmente grande di particelle piccolissime, da lei chiamate molecole, ed ogni molecola come composta di un picciolo ma determinato numero di particelle ancora più piccole, denominate *atomi.* Gli atomi, secondo i chimici, sono di diversa specie, ma gli atomi di una medesima specie hanno tutti un egual peso. Così per esempio essi ritengono, e lo provano colle loro esperienze, che ogni atomo di ossigene pesi esattamente quanto sedici atomi di idrogene; che ogni atomo di carbonio pesi costantemente due terzi dell' atomo di ossigene: che ogni atomo di calcio pesi esattamente due volte e mezza quanto l' atomo di ossigene (Lez. XXVII, XXVIII). Ciò posto, il peso di un corpo semplice è esattamentre proporzionale al numero degli atomi ch'egli contiene: il peso di un corpo composto non è esattamente proporzionale al numero degli atomi, ma è però come nel primo caso, la somma dei pesi di tutti gli atomi componenti. Combinate questi atomi in mille diverse maniere, sino a tanto che voi non levate via degli atomi o non ne aggiungete dei nuovi la forma del corpo potrà essere differentissima, ma il peso rimane costante.

Meditando sopra questo fatto certissimo, provato non solamente dalla Chimica, ma dalla più volgare esperienza quotidiana, e generalizzandolo per analogia, e coll' appoggio di un gran numero di altri fatti somministrati

dall'Astronomia, scorgesi che ogni atomo di idrogene esistente nel nostro sistema solare attrae ed è attratto con una forza determinata e costante da ciascun altro atomo di idrogene posto egualmente nel nostro sistema solare ad una data distanza; per esempio essendo un atomo di idrogene al centro della terra, ed un altro al centro del sole. Quello stesso atomo di idrogene, posto nel centro della terra attrarrà e sarà attratto da un atomo di ossigene, posto al centro del sole, con una forza otto volte più grande di quella con cui egli attrae od è attratto dall'atomo di idrogene situato egualmente al centro del sole. Quindi se ci fosse una bilancia a molla di infinita precisione e finezza, consistente in un verme spirale elastico, ma imponderabile, ossia non soggetto esso medesimo all'attrazione, quando questo verme fosse premuto ad un'estremità da un atomo di idrogene posto al centro del sole, ed all'altra estremità da un altro atomo di idrogene posto al centro della terra, a distanza costante dal sole, l'indice di questa ideale bilancia, accuserebbe sempre un eguale sforzo di accostamento dei due atomi di idrogene, ancorchè presi da diversi corpi: ma uno sforzo sedici volte più grande, quando un d'essi fosse un atomo di idrogene, e l'altro di ossigene: perchè il peso atomistico dell'idrogene è la sedicesima parte del peso dell'idrogene: ed uno sforzo 16 per 16, ossia 256 volte più grande che nel primo caso, se tanto l'atomo nel centro del sole quanto l'atomo nel centro della terra fossero di ossigene. Dicasi il simile per gli atomi degli altri corpi semplici: più generalmente lo sforzo che fanno due atomi per accostarsi, supposta costante la distanza, è proporzionale al prodotto dei loro pesi atomistici.

Si considerano nella Matematica parecchie quantità delle quali è difficile il dare una definizione perfetta, ed

al coperto da qualunque obbiezione di un dialettico schifiltoso, e che non pertanto hanno presso tutti i matematici un senso così preciso e costante, che non li lascia mai commettere errore nel calcolo di esse quantità. Qualunque definizione voglia darsi della parola *massa*, è certo che la massa di un corpo è proporzionale alla somma dei prodotti che si potrebbero ottenere moltiplicando ciascuno degli atomi componenti pel rispettivo peso atomistico. È certo altresì che la velocità iniziale che si può ottenere applicando una data forza ad un corpo è direttamente proporzionale alla forza stessa, ed inversamente proporzionale alla massa del corpo: anzi per verità è precisamente questo il principio sopra il quale sonosi fondati gli astronomi per giudicare della massa del sole, della terra e degli altri pianeti: essi conoscono più direttamente la velocità cui ciascheduno di questi corpi imprimerebbe ad un mobile il quale verso di loro cadesse in un minuto secondo; e da ciò hanno argomentato le loro rispettive masse.

Ora sebbene il peso di due corpi uno verso dell'altro, cioè lo sforzo contrastato ch' essi fanno per accostarsi reciprocamente, sia proporzionale al prodotto delle loro due masse, e quindi eguale in ambedue, pure se eglino son liberi di muoversi cedendo alla reciproca attrazione, quello sforzo va distribuito per la loro rispettiva massa, donde segue che il viaggio da ciascuno di essi fatto in un dato tempo è in ragione inversa della loro massa. Così, a cagion d' esempio, lo sforzo cui fa la terra per correr verso il sole è precisamente eguale allo sforzo del sole per correre verso la terra, perchè l'uno e l'altro sforzo è proporzionale al prodotto delle due masse; ed anche per la ragione più generale che l' azione è eguale alla reazione: ma questa eguale forza ripartita sopra due ineguali masse, essendo quella del sole 350,000

volte più grande che la massa della terra, produrrebbe in questa, se ambedue i globi potessero unicamente ubbidire alla loro mutua attrazione, una velocità 350,000 volte più grande che nel sole; laonde i due globi correndosi incontro in linea retta, urterebbonsi quando la terra avrebbe già percorso la maggior parte, circa 213 in 214 parti, della distanza fra i due centri. I due centri incontrerebbonsi esattamente nel comune centro di gravità, se nol vietasse l'impenetrabilità dei due corpi dopo il loro appulso. Più veramente la terra verrebbe infranta ed assorbita dal sole, ma il comune centro di gravità, anche dopo l' unione, resterebbe nella stessa posizione in cui sarebbe se i due corpi fossero rimasti separati: imperciocchè la reciproca attrazione di due corpi, più generalmente l' influenza reciproca delle varie parti di un sistema, non altera punto la posizione del centro di gravità del sistema stesso.

Dopo avere spiegato la prima legge dell' attrazione universale con maggiore esattezza e più completamente di quello che si suole anche in opere riservate ai dotti, spieghiamone ora la seconda legge come può convenirsi in un' opera popolare, benchè nulla sieno per apprendervi i dotti di professione. Non l' attrazione soltanto, ma ancora la diffusione del calorico e della luce, e così pure altre influenze che raggiano in tutte le direzioni da un punto centrale, seguono la ragione inversa del quadrato della distanza. Prendiamone uno speciale esempio dalla diffusione della luce.

Si chiama *fotometria* la misura dell' intensità della luce. Ora imaginiamoci una speciale esperienza fotometrica, fatta non veramente coi metodi più accurati e precisi, che si sogliono e debbono preferire in un gabinetto di fisica, ma in una maniera più semplice ad eseguirsi ed a comprendersi da tutti.

Io mi colloco ad un passo di distanza dalla candela che arde su questa tavola, e spiego un foglio scritto, per leggerne il contenuto. Affine di semplificare il concetto del nostro esperimento, supponete che non esistano altri lumi in questo vasto ambiente (*). Supponete di più, che il mio foglio non riceva che la luce diretta della candela, e non già la sua luce indiretta, riverberata dalle pareti. Ciò avverrebbe, per esempio, se pareti, volta, e pavimento fosser tappezzati di nero. Non vi turbi questa lugubre idea, o mie gentili signore. Fate conto di essere in China, dove tante convenzioni sociali sono l'inverso delle nostre, e dove il nero è il colore emblematico della gioia; mentre il bianco è il colore del lutto; come la sinistra è il posto d'onore, e la destra quello di inferiore deferenza.

Suppongo che in tali circostanze il mio foglio riceva dalla candela nè più nè meno di quella precisa quantità di luce, che mi vuole per leggere comodamente lo scritto.

Ma ecco che io mi discosto di un altro passo. Mi avveggo tosto che il lume è insufficiente per legger bene. Ne fo accendere un altro, eguale e vicino al primo, ma non basta. Dico: accendetene un terzo. — Non basta ancora! — Ne accendono un quarto, ed allora sì che basta. Con quattro candele, a due passi di distanza, io ci veggo precisamente, come facevo con una candela sola, ad un sol passo. Che cosa prova questo? Prova che ognuna delle quattro candele, a due passi di distanza, manda al mio foglio la quarta parte soltanto della luce che essa gli impartiva alla distanza di un passo.

Continuo l'esperienza; mi fo indietro d'un altro passo, ossia mi colloco ad una distanza tre volte più

(*) Il teatro V. Emanuele a Torino.

grande della prima. Voi immaginate facilmente che bisognerà crescere l'illuminazione; ma non basta già crescerla nella semplice proporzione della distanza.

In quel modo che a due passi ci voleva un'illuminazione, non due volte ma due via due, ossia quattro volte più energica, così pure, qui a tre passi di distanza, ci vogliono non tre, ma tre via tre, ossia nove lumi eguali al primo. A quattro passi, ce ne vorrebbero quattro volte quattro, cioè sedici; a dieci passi ce ne vorrebbero dieci via dieci, ossia cento; e così via dicendo.

Ora, quattro è il quadrato di due: nove è il quadrato di tre; sedici è il quadrato di quattro, ecc. Quindi, se ciaschedun lume a distanza doppia non dà che la quarta parte di luce, a distanza tripla egli dà soltanto la nona parte della luce cui dava prima, e via dicendo; insomma l'intensità della luce ricevuta in un dato luogo *cala* nella stessa proporzione del *crescere* il quadrato della distanza. La medesima legge sussiste pel calorico e per l'attrazione universale. Questa bella legge fisica dipende dal seguente teorema geometrico: se una piramide si taglia con diversi piani paralelli, le sezioni stanno fra loro nel rapporto stesso che i quadrati delle loro rispettive distanze dal vertice.

Se due atomi di diversa natura, e diversamente situati, ne attraggono un terzo, per determinare geometricamente l'attrazione che i due primi esercitano sul terzo, bisogna da quest'ultimo condurre verso il primo atomo una retta di lunghezza proporzionale al prodotto del peso atomistico del primo atomo pel peso atomistico del terzo atomo, diviso pel quadrato della loro reciproca distanza: condurre altra analoga retta dal terzo al secondo atomo, poi costruire il parallellogrammo di queste due rette: la diagonale (Lez. XVI, pag. 190) rappresenta la risultante dell'attrazione dei due primi

atomi sul terzo. Se gli atomi attraenti fossero più di due, si conducano dall' atomo attratto tante rette che rappresentino l' attrazione attiva esercitata dai diversi atomi sopra l' atomo attratto; poi si descriva un poligono i cui lati sieno rispettivamente eguali e paralelli a quelle varie rette: condotta infine dall' atomo attratto una retta che chiuda il poligono, questa retta che chiude il poligono rappresenterà, in direzione ed in lunghezza, la risultante dell' azione di tutti gli atomi attraenti sulll'atomo attratto.

A determinare l' attrazione esercitata da un intero corpo sopra un altro, bisognerebbe cercare colla regola precedente la risultante dell' attrazione complessiva di tutti gli atomi del corpo attraente sopra ciascuno degli atomi del corpo attratto; poi trasportare tutte queste risultanti, paralellamente a loro stesse, al centro di gravità del corpo attratto. Ivi costrutto il poligono di tutte queste risultanti, il lato che chiude il poligono rappresenterà, in lunghezza e direzione, lo sforzo cui fa il corpo attratto per accostarsi al corpo attraente. Diviso infine questo sforzo per la massa del corpo attratto, cioè per la somma dei prodotti che nascono moltiplicando ciascun atomo componente pel suo rispettivo peso atomistico, il quoziente sarà proporzionale alla velocità iniziale con cui il corpo attratto moverebbesi verso il corpo attraente. Non si avrebbe che a paragonare la velocità proporzionale così trovata colla velocità reale nota di un caso particolare, come quello della gravità terrestre, per trovare la velocità effettiva colla quale moverebbonsi uno verso dell' altro i due dati corpi.

La precedente teoria riescirà alquanto scabrosa, benchè non impossibile, a comprendersi da persone poco addottrinate: riescirebbe ben più difficile, anzi impossibile ad applicarsi con precisione alla maggior parte dei casi pratici, anche pei matematici più

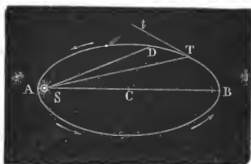
profondi, tranne alcuni pochi casi della più grande regolarità e semplicità geometrica, ai quali è facile l'applicazione del calcolo integrale. Uno di questi casi speciali, fortunatamente il più importante per gli astronomi, è l'attrazione delle sfere. È dimostrato che le attrazioni di tutti i varii punti di uno strato sferico omogeneo, ossia di uniforme densità, per un corpo situato al di dentro di esso strato, si bilanciano ed elidono a vicenda, ossia hanno una risultante nulla; ma per un corpo situato al di fuori hanno lo stesso effetto come se tutta la massa dello strato fosse riunita nel centro della sfera: donde segue poi che l'attrazione di un'intera sfera omogenea, o a diversi strati omogenei, verso un corpo situato al di fuori di essa, è la medesima come se tutta la massa della sfera si riducesse al centro: ma per una particella situata dentro alla sfera, l'attrazione di tutti gli strati al di fuori di essa particella riducesi a zero, e rimane in tutta attività l'attrazione della parte sferica avente per raggio la distanza di quella particella dal centro della sfera.

Nella maggior parte de' casi sarebbe impossibile o difficile il trovare col calcolo la risultante delle attrazioni attive o passive: e ciò non ostante è ben certissimo che in tutti i casi speciali vi è una sola e determinata risultante di tutti i corpi del nostro sistema solare, forse di tutto intero il Cosmos, sopra ogni molecola che ne faccia parte, benchè le distanze differiscano di milioni, od anche bilioni di miglia; e che questa risultante dipende dai pesi atomistici di tutti gli innumerabili atomi attraenti ed attratti, e dalle loro diverse distanze e situazioni. Ciascheduno degli innumerabili atomi che compongono la terra, i pianeti, le comete, il sole e le stelle, muovesi precisamente in quella guisa in cui si muoverebbe se vi risiedesse a governarlo lo spirito di un chi-

mico superiore a Lavoisier ed a Berzelius per conoscere il peso atomistico di tutti gli atomi che compongono il resto del sistema solare, di un analista più sicuro e più rapido di Newton e di Eulero per calcolare i quadrati delle loro distanze, di un geometra più profondo di Archimede e di Lagrange per eseguire ad ogni istante i paralellogrammi ed i poligoni di tutte le forze componenti. Il chimico, il calcolatore, il geometra più grande, e più sicuro di tutti gli uomini di genio che furono e che saranno, è la Natura: di qual mezzo però ella servasi per muovere ad ogni momento gl' innumerevoli atomi dell' Universo, in conformità delle leggi dell'attrazione, leggi così semplici nel loro generico enunciato, ma così complesse e così continuamente variate nelle loro speciali applicazioni, è un mistero: un mistero profondo ed atto a riempir di stupore i più grandi filosofi, senza la speranza prossima, o forse la possibilità, di poterlo giammai penetrare!

Le tre famose leggi di Keplero si possono dedurre, con rigore matematico, dalla legge neutoniana della gravitazione universale. Storicamente però la scoperta del grande astronomo Tedesco ha preceduto quella del grande astronomo Inglese, e questi si è servito delle leggi di Keplero, egualmente che dei teoremi di Huyghens sulla forza centrifuga, per dimostrare che l' attrazione è in ragione inversa del quadrato della distanza.

La prima fra le tre leggi di Keplero si può brevissimamente enunciare così: *Le aree sono proporzionali ai tempi;* cioè a dire che il tempo impiegato da un pianeta a percorrere un arco qualunque della sua orbita attorno al sole è proporzionale all' area racchiusa fra quest' arco e i due raggi vettori condotti dal sole alle due estremità di quell' arco. Per cagion d' esempio sia TAB l' orbita di una cometa, S il fuoco occupato dal

sole; se il tempo impiegato dalla cometa a percorrere l'arco TD è la terza parte del tempo impiegato a percorrere l'arco BD, anche l'area TDS, racchiusa fra il primo arco e i due raggi vettori TS, DS, sarà la terza parte dell'area DBS racchiusa fra il secondo arco e i due raggi vettori DS, SB. Keplero scoperse questa, come le altre due leggi che portano il suo nome, mediante l'osservazione; Newton la generalizzò dimostrando geometricamente che essa estendesi a tutti i corpi attratti o respinti in un modo qualunque da un punto fisso.

La seconda legge di Keplero è questa: *Ogni pianeta descrive attorno al sole un' ellissi, della quale il sole occupa uno dei due fuochi.* Newton generalizzò e precisò meglio anche questa scoperta di Keplero, dimostrando rigorosamente che se due corpi attraggonsi reciprocamente in ragione inversa del quadrato della distanza, ciascuno di essi descrive attorno all'altro, ed attorno al loro comune centro di gravità, una sezione conica, cioè un circolo, un'ellissi, un'iperbole, od una parabola, di cui un fuoco coincide col centro di azione; e viceversa, che se due corpi descrivono una sezione conica uno attorno all'altro, od al comune centro di gravità, le forze centripete sono in ragion inversa del quadrato della distanza.

Le leggi di Keplero si debbono intendere applicate

al moto relativo dei pianeti, delle comete, e del sole, non al loro moto assoluto nello spazio infinito. Per esempio, i pianeti del nostro sistema solare descrivono nello spazio del nostro Cosmos, non già un' ellissi od altra sezione conica, ma una curva a doppia curvatura, e di natura complicata, accostandosi però molto ad una particolare specie di sinoide, rappresentata con due diverse proiezioni nella parte sinistra della nostra tavola I (pagina 400, Vol. I). È possibile, anzi probabile, che il nostro Cosmos, composto delle stelle a noi visibili, e de' loro pianeti (Proemio, pag. 13) abbia un movimento generale di traslazione nello spazio infinito, allontanandosi od avvicinandosi ad altri cosmi, impossibili a vedersi da noi. Ove ciò sia, la terra, ed ognuno dei pianeti suoi compagni, descriverà anche in questo caso nello spazio infinito una spirale cilindrica attorno ad un cilindro scaleno a base prossimamente circolare, essendo il contorno di questa base, eguale e paralello alla rispettiva orbita del pianeta; ma l'asse del cilindro, invece di essere la via del sole verso l' *apice solare*, situato nella costellazione di Ercole, sarà la risultante della velocità del sole verso l'apice, e della velocità del nostro Cosmòs nello spazio assoluto.

Per trovare col calcolo e colla Geometria quale specie di moto relativo sia per avere un pianeta, una cometa, od altro corpo, rispetto allo spazio circoscritto del sistema solare, quando quel pianeta, cometa, o corpo qualunque, possieda una data direzione e velocità nello spazio assoluto, direzione e velocità le quali tendono a farlo fuggire per la tangente Tt della sua traiettoria, ed egli non vada soggetto ad alcun' altra forza acceleratrice o ritardatrice, eccettuata l'attrazione del sole, o di altro corpo centrale che sia in movimento egli stesso, bisogna procedere come ora dirò. Suppongo per comodità e bre-

vità di spiegazione che il corpo attraente sia il sole, ed il corpo attratto sia una cometa, di pochissima massa in paragone della massa solare. Pel centro di gravità della cometa conducete una retta paralella al movimento reale del centro del sole nello spazio, ma in direzione opposta, e lunga quanto la linea percorsa dal centro del sole in un minuto secondo. Prendete al medesimo tempo, nella direzione del moto reale ed assoluto della cometa, la retta che sarebbe da lei percorsa in un minuto secondo, se non fosse disturbata dall'attrazione del sole. Costruito il paralellogrammo di queste due rette, la diagonale di questo paralellogrammo, ossia la risultante delle due velocità assolute prendendone una a rovescio, rappresenta per quel dato istante il moto relativo della cometa, rispetto al sole, considerato come immobile.

Immaginate ora un immenso cartone piano, collocato in guisa da contenere ad un tempo nella sua superficie i centri del sole e della cometa, e la diagonale testè descritta, e che questo cartone sia fissato nel sole, cosicchè il sole nell'andare verso Ercole, o dove che sia, si tiri dietro il cartone, ma che questo serbisi sempre paralello alla primiera sua situazione. Or bene; se quella diagonale prolungata passa pel centro del sole, la cometa correrà in linea retta, e con moto accelerato, a precipitarsi nel sole e ad aumentarne la massa: ma nel caso immensamente più probabile che la direzione di quella diagonale non passi pel centro del sole, il centro della cometa descriverà, sopra quello stesso immenso cartone imaginario, trascinato dal sole, una curva della quale quella diagonale sarà una tangente, e questa curva sarà certamente una sezione conica: ellissi, iperbole, o parabola.

Supponete che al punto di partenza, la cometa, invece di ubbidire più o meno al primitivo impulso di proiezione, si movesse con moto accelerato in linea retta

verso del sole, insino a tanto che ella avesse acquistato una velocità eguale alla velocità rappresentata da quella nostra diagonale, e ciò in virtù dell' attrazione del sole, divenuta costante, ed eguale a quella cui il sole esercitava sulla cometa nel punto di partenza. Il viaggio cui avrebbe fatto così la cometa, per acquistare quella velocità, si chiama *l' altezza dovuta alla velocità.* Ora la traiettoria, o curva descrittta dalla cometa, sarà un'*ellissi*, un' *iperbole*, od una *parabola*, secondochè l' altezza dovuta alla velocità è *minore*, *maggiore*, od *eguale* del raggio vettore.

Così, data la velocità di un pianeta o di una cometa in un punto qualunque della sua orbita, e data la sua distanza dal sole, riman determinata altresì la specie di curva cui il pianeta o la cometa descrive. Anzi, date che sieno la distanza, o raggio vettore, e la velocità, quindi ancora l' altezza dovuta a questa velocità, noi siamo in grado di decidere non pure se la traiettoria dev' essere un' ellissi, ma ben anche quale debba esserne l' asse maggiore; donde poi, mercè la terza legge di Keplero, di che tosto ci faremo a dire, sapremo eziandio quale debba esserne il tempo periodico. Poco importa la direzione del moto proprio del pianeta o della cometa all' istante in cui se ne considera la velocità e la distanza dal sole; quella direzione influirà sulla posizione del piano dell' orbita, e sulla sua forma più o meno schiacciata, ma non sulla lunghezza dell' asse maggiore, nè sulla durata del suo periodo.

Il circolo può considerarsi come una specie particolare di ellissi, nella quale i due fuochi riunisconsi nel centro, ed i due assi, e quindi i diametri tutti, sono fra loro eguali. La traiettoria sarà un circolo quando l' altezza dovuta alla velocità sia esattamente la metà del raggio vettore, purchè inoltre questo raggio vettore sia

perpendicolare alla tangente della curva. Entrambe queste condizioni verificansi prossimamente, benchè non esattamente, nel giro dei pianeti principali intorno al sole, e de' satelliti attorno ai pianeti primari; di che deriva che questi corpi descrivono, attorno ai loro rispettivi centri d'azione, delle ellissi di piccola eccentricità, la di cui forma si diversifica poco da quella del circolo.

Non è così delle comete. Vero è che esse come i pianeti ubbidiscono all'attrazione del sole, e perciò descrivono attorno ad esso una sezione conica, della quale, al solito, il sole occupa uno de' due fuochi; ma questa sezione conica è generalmente differentissima da un circolo. Le comete periodiche descrivono un'ellissi di grande eccentricità: le non periodiche, delle quali è di gran lunga maggiore il numero, descrivono un'iperbole.

Sarebbe possibile, ma immensamente improbabile, che elleno descrivessero anche una parabola, perchè di necessità sarà sommamente raro il verificarsi di una precisa eguaglianza fra il raggio vettore e l'altezza dovuta alla velocità. Vera cosa è che Galileo ha scoperto e dimostrato che i gravi obbliquamente lanciati descrivono una parabola: ma questo bel teorema, come in generale tutte le teorie matematiche della Fisica e dell'Astronomia, non si verifica praticamente che con certe limitazioni, ed in modo approssimativo. Il ragionamento dimostrante che la traiettoria di una pietra, di un proiettile qualunque, lanciato in aria, è una parabola, suppone piccolissima o nulla la resistenza dell'aria, e di più suppone costante a tutte le altezze la gravità che investe la pietra, e che le linee verticali calate dai varii punti della traiettoria sieno fra loro paralelle. Ora queste due condizioni avveransi con sufficientissima esattezza pratica per quel picciolo tratto di spazio e di tempo che la pietra rimane per aria: ma se la massa terrestre potesse

tutt'a un tratto stiparsi nel centro, in guisa da lasciar passare senza ostacolo la pietra, questa, nel progresso del suo cammino, descriverebbe attorno al centro della terra, come fuoco, un'ellissi. A voler determinare questa ellissi non serve il prendere a considerare il moto annuo attorno al sole, che è prossimamente eguale tanto nel centro della terra, quanto nei corpi situati alla sua superficie, ma bensì la diagonale risultante dell'impulso con cui fu lanciata la pietra, e del moto diurno, proprio del paralello di latitudine. La pietra, divenuta un piccolo satellite della terra, descriverebbe un'ellissi molto schiacciata, sopra un piano passante pel centro della terra, il quale ne sarebbe il fuoco, pel punto di partenza, e per la risultante della velocità di proietto e della velocità di rivoluzione del paralello terrestre, arriverebbe con grandissima rapidità al suo perigeo, poi tornerebbe al punto di partenza, vicinissimo al suo apogeo, con un periodo totale di mezz'ora incirca.

Del resto non è questo il solo caso ove un piccolo arco realmente ellittico possa considerarsi come un arco parabolico. Nulla osta che un mobile tracci una curva sopra una superficie la quale si muove in un dato modo, ed un'altra curva differentissima sopra un'altra superficie che si muove contemporaneamente in tutt'altro modo: tale è il caso dei proiettili: essi descrivono una parabola sopra un piano perpendicolarmente fisso alla superficie terrestre, ed animato com'essa dal moto diurno; ma in pari tempo descrivono un arco ellittico sopra un altro piano, fissato non alla superficie ma al centro della terra, ed animato, come questo centro, dal moto annuo, e non dal moto diurno. Ma anche in una curva presa sopra un piano immobile, o considerato quale immobile, un arco di poca lunghezza può sempre considerarsi approssimativamente parabolico; e questo è ciò che suol farsi

per amore di facilità nel calcolo delle comete al primo loro apparire in cielo. Così ancora un arco, relativamente più breve, di quella o di altra curva, può sempre confondersi prossimamenle con un arco del di lei circolo osculatore; ed infine un arco più breve ancora può risguardarsi come rettilineo, e come parte della sua tangente.

Veniamo omai alla terza legge di Keplero, la quale può concisamente esprimersi così: *i quadrati dei tempi stanno fra loro come i cubi delle distanze medie.* Si chiama distanza media il semiasse maggiore CB (pagina 280), perchè questo semiasse è un' esatta media aritmetica fra la distanza massima od afelia, BS, e la distanza minima, o perielia, SA. Per esempio la distanza media di Nettuno dal Sole è 30 volte più grande che la distanza media della Terra dal Sole. Il cubo, egualmente che il quadrato, di 1 è sempre 1; ed il cubo di 30, ossia 30 × 30 × 30, é 27,000. I cubi delle distanze dei due pianeti stanno dunque fra loro come sta uno a 27,000. Il periodo della terra è un anno sidereo, cioè 20 minuti e 24 secondi di più di un anno tropico. Trattandosi però qui semplicemente di avere un comodo esempio, diciamo addirittura: il periodo della Terra è un anno: il periodo di Nettuno è un po' più di 164 anni e mezzo. Ora il quadrato di 164.5 è 27060.25 cioè prossimamente 27,000. Scorgesi dunque da questo facile esempio, e meglio poi apparisce eseguendo il calcolo con maggiore accuratezza, che pei due pianeti Terra e Nettuno i quadrati de' tempi periodici hanno fra loro lo stesso rapporto che i cubi delle distanze medie. Per vero dire i numeri indicanti il periodo e la distanza assoluta di Nettuno e della maggior parte dei pianeti, sono stati dedotti dalla terza legge di Keplero, più che questa legge sia stata dedotta dalle distanze reali dei pianeti. Fortu-

natamente le distanze relative, cioè i rapporti reciproci delle varie distanze, si possono conoscere con sufficiente approssimazione anche senza conoscere le distanze reali, confrontando i tempi colle varie posizioni angolari dei pianeti; e basta la cognizione dei tempi periodici e dei rapporti delle distanze per istabilire sopra solide basi di fatto la terza legge di Keplero. Dopo di ciò, conoscendo la distanza assoluta anche di un solo pianeta, come la terra, si può, senza commettere il sofisma del circolo vizioso, dedurre dalla legge stessa la distanza assoluta di tutti gli altri pianeti, de' quali sia noto il periodo.

Anche questa legge Kepleriana è stata generalizzata da Newton, dimostrando rigorosamente che se due corpi attraggonsi in ragione inversa del quadrato della distanza, i quadrati de' tempi delle loro rivoluzioni attorno al comune centro di gravità sono come i cubi delle loro distanze da questo centro; e viceversa, se i periodi e le distanze ubbidiscono a siffatta regola, i due corpi attraggonsi in ragione inversa del quadrato della distanza.

È intrinsecamente verosimile che la legge dell' attrazione reciproca dei corpi in ragion diretta della massa, ed inversa del quadrato della distanza, si verifichi in tutte le parti dell' Universo. Certamente abbiamo palesi indizii che essa ha luogo in altri sistemi facienti parte del nostro Cosmos, a molti bilioni di miglia di distanza dal nostro sole, imperciocchè si è trovato che le stelle doppie descrivono delle ellissi attorno al lor comune centro di gravità, in modo appieno conforme alla teoria Neutoniana. Molto più evidentemente ancora regna l' attrazione neutoniana nel nostro sistema, poichè i quadrati dei tempi periodici dei pianeti primarii e delle comete periodiche attorno al sole, e dei satelliti attorno al loro pianeta primario, sono proporzionali ai cubi delle rispettive distanze.

Ed è certissima cosa che non solamente i pianeti primarii sono attratti dal sole, ed attraggono i loro rispettivi satelliti; ma le reciproche perturbazioni pongon fuori di dubbio altresì che i pianeti primarii attraggonsi gli uni gli altri, donde poi si inferisce per analogia che anche i pianeti secondarii attraggonsi reciprocamente ed attraggono i loro pianeti primarii.

Che poi tutti i soli o stelle non formanti un solo sistema di stella doppia o multipla attraggansi reciprocamente, è impossibile per ora il dimostrarlo direttamente. L' argomento di analogia, esteso da un solo o pochi sistemi solari a tutto il vastissimo sistema del Cosmos, è poco efficace: ma è intrinsecamente probabile che la legge dell' attrazione neutoniana, in ragion diretta delle masse, ed inversa del quadrato delle distanze, regni almeno a parte in ciascheduno degli innumerevoli sistemi solari sparsi non solo pel nostro Cosmos, ma per tutto l'immenso Universo.

Se non esistesse che il sole ed un unico pianeta, questo ubbidirebbe con precisione geometrica a tutte e tre le leggi di Keplero: ma la reciproca attrazione dei pianeti cagiona in essi delle piccole deviazioni dal regolare lor corso; deviazioni che si chiamano ancora *perturbazioni.* Le perturbazioni cagionate da un pianeta sopra un altro sfuggono anche alle più diligenti osservazioni quando il pianeta perturbatore è piccolissimo o molto lontano: esse divengono tanto più sensibili quanto maggiore è la massa perturbatrice, e minore la sua distanza. Sono casi speciali di perturbazione le così dette *grandi ineguaglianze,* come il movimento dei nodi, ossia delle intersezioni dell'ecclittica colle orbite degli altri pianeti; il variare delle loro reciproche inclinazioni; l'aumento o diminuzione dell' obliquità dell' ecclittica all' equatore; la precessione degli equinozii; la librazione della luna;

l'accelerazione secolare del suo movimento. Le perturbazioni di Urano per parte di Nettuno, nel tempo che Nettuno era invisibile ed ignoto, condussero Le Verrier allo scoprimento di esso.

Non ostanti le reciproche perturbazioni, è un fatto bellissimo e di capitale importanza che il nostro sistema solare è dotato di una fondamentale stabilità. Ciò dipende principalmente dalla invariabilità degli assi maggiori delle orbite, e quindi dei tempi periodici de' grandi pianeti; invariabilità scoperta da Lagrange, e dimostrata da lui, poscia in altro modo da Laplace.

Tutti gli altri elementi delle ellissi planetarie sono variabili. È variabile la loro eccentricità, cioè le orbite si accostano o discostano ora più ora meno dalla forma circolare; sono variabili le reciproche inclinazioni de' loro piani; spostansi continuamente i loro perielii ed i loro nodi: ma queste variazioni sono estremamente lente, di guisa che si richiede il confronto delle osservazioni fatte a varii secoli di distanza per poterle rendere sensibili. Di più, Laplace ha analiticamente dimostrato che, qualunque sieno le masse dei pianeti, basta la circostanza che i pianeti muovonsi presentemente tutti nello stesso senso ed in orbite poco eccentriche e poco inclinate le une alle altre, per assicurarci che le ineguaglianze secolari dei pianeti sono periodiche, e racchiuse fra angusti limiti. Ne segue che i pianeti attuali non possono mai essere stati nè divenire comete, nè aver mai avuto od essere per acquistare una grande eccentricità, durante il tempo che il nostro sistema è stato o sarà composto soltanto della quantità di materia che egli ora contiene.

Ciò non attesta però che il nucleo di un pianeta non possa in origine aver descritto attorno al sole un'ellissi molto allungata, od anche un'iperbole, ma che pel cozzo

di un altro gran corpo, o di un gran numero di piccioli corpi ai quali il nucleo del pianeta siasi unito, non possa la di lui traiettoria aver sofferto un radicale mutamento, ed essersi anche trasformata in una ellissi quasi circolare.

L'avvenire della specie umana dipende in parte dall'inalterabilità del sistema solare. Imperciocchè se le mutue perturbazioni dei pianeti, lungi dal limitarsi a produrre nel sistema lente e periodiche oscillazioni, potessero indefinitamente accumulare i loro effetti, il nostro pianeta diverrebbe, dopo alquante migliaia di anni, totalmente od almeno in gran parte, inabitabile.

LEZIONE LVI

Sistema Copernicano

Si chiama sistema Copernicano la spiegazione data da Nicolò Copernico dei moti reali ed apparenti de' corpi celesti: spiegazione che fu ammessa più tardi ed è tuttora ammessa unanimemente da tutti gli Astronomi, non già più come una semplice ipotesi, ma come un fatto dei più sicuri ed incontrastabili.

Il sistema Copernicano consiste principalmente in tre fatti:

1.° La terra gira continuamente intorno al proprio asse da ponente a levante, ed il tempo da lei impiegato a compiere una di tali rivoluzioni è prossimamente di 24 ore. Questa prima supposizione copernicana rende perfettamente ragione del moto diurno apparente

del Sole, della luna e di tutti gli altri corpi celesti, nella opposta direzione, cioè da levante a ponente (Lez. XXIX).

2.° Il sole risiede immobile nel centro del nostro sistema planetario, ed i pianeti descrivono attorno ad esso delle orbite prossimamente circolari: la terra in un anno, gli altri pianeti con dei periodi più o meno lunghi, secondo la maggiore o minor grandezza dei diametri delle loro orbite. Questa seconda supposizione copernicana spiega perfettamente il moto apparente del Sole rispetto alle stelle fisse: imperciocchè essendo queste ultime ad una distanza da noi molto più grande che la distanza del sole, avviene di necessità che mentre noi giriamo in un anno attorno al gran luminare, egli deve comparirci in una stessa visuale, ossia *in congiunzione,* ora con certe stelle ora con certe altre, in guisa da compiere apparentemente, in un anno, un intero giro sulla sfera celeste. Allorchè dico che il sole apparisce in congiunzione or d'una or d' altra stella fissa, si deve intendere che ciò rendesi manifesto al calcolo, più veramente che per mezzo della diretta osservazione oculare: imperciocchè le stelle che esser potessero in una stessa retta con noi e col centro del sole, ci sarebbero nascoste per l' interposizione del sole stesso; e le stelle prossime a quella visuale, anche emergendo dal disco solare, sarebbero invisibili a cagione della sovrabbondante luce del sole. Ma ben possiamo osservare le stelle di notte; e dalla loro posizione angolare sull' orizzonte, e dall' ora del giorno, rilevare quali sono le stelle che trovansi in congiunzione esatta o prossima col sole sotto l' orizzonte.

La rivoluzione annua della terra, combinata col movimento reale de' varii pianeti attorno al sole, rende pur ragione dei varii loro moti apparenti rispetto al sole ed alle stelle; e spiega perfettamente perchè i pianeti ora sembrino in congiunzione col sole, ora in opposizione,

ora in quadratura: perchè essi paiano avere un moto ora diretto, ora retrogrado; perchè tal altra fiata, sempre però per breve tempo, essi sieno *stazionarii*, cioè non appariscano cambiare sensibilmente di posto rispetto alle stelle fisse. Considerando poscia, oltre il moto annuo della terra attorno al sole, anche l'obliquità del piano dell'equatore al piano dell'ecclittica o piano dell'orbita, trovasi altresì la pienissima spiegazione del variare delle stagioni.

3.° Copernico suppose che il sole e le altre stelle sieno assolutamente e relativamente immobili. Vero è che più di recente si è scoperto che il sole e le stelle van soggetti a dei reali movimenti di traslazione: ma noi sappiamo ancora quanto piccoli sieno tali movimenti in paragone delle enormi distanze reciproche delle stelle. A cagion d'esempio il sole nel muoversi verso le stelle ρ e π (*Rho* e *Pi* greco) della costellazione di Ercole (Lez. XXXIX) percorre in un anno una distanza di circa 120 milioni di miglia italiane, o tre quarti del diametro dell'orbita terrestre; ma questo viaggio, così grande in paragone dei viaggi ordinarii degli uomini sulla faccia del nostro pianeta, è una misera cosa in confronto delle distanze reciproche delle stelle: non è, per esempio, che la duemillionesima parte della nostra distanza dalla stella polare: è come se un uomo muovesse un passo solo in un anno per arrivare ad una città distante un migliaio di miglia!

Questo terzo supposto copernicano, della immobilità assoluta e relativa del sole e delle stelle, perciò dette fisse, spiega in modo appieno soddisfacente l'apparente invariabilità della forma delle costellazioni, e della situazione ottica delle stelle. Per esempio le sette stelle principali dell'Orsa maggiore si veggono a diverse ore della notte ora più ora meno alte sull'orizzonte, e ciò

in virtù del moto diurno della terra; ma presentano sempre agli occhi nostri quella stessa apparente figura di un carro. Le sei principali stelle del Cigno sono ora presso il nostro Zenit, ora presso il nostro Nadir, ora ad oriente, ora ad occidente; e ciò egualmente in virtù del moto rotatorio della terra, che produce il moto diurno apparente del cielo: malgrado questa fallace apparenza, le sei principali stelle del Cigno ci figurano sempre una bella forma di croce, benchè ora in piedi, ora coricata: ma l'allineamento dell'asta della croce, cioè la linea tirata dalla testa al piede, essendo prolungata passa invariabilmente attraverso alle costellazioni di Cassiopea da una parte e di Orione dall'altra; la linea delle braccia della stessa croce del Cigno traversa invariabilmente le costellazioni di Boote e dell' Orsa maggiore da una parte, dell' Aquario e di Argo dall' altra parte. E questo è facile a comprendersi. Osservando gli alberi, le case, le torri mentre noi viaggiamo a piedi od in vettura, la scena è in un continuo e piacevole movimento: ad un certo istante un albero ci comparisce a sinistra della casa e della torre; un minuto dopo, l' albero sembra essersi collocato fra la casa e la torre; un po' più tardi egli sembra esser passato alla destra dell' una e dell' altra. Quando però tutti e tre gli oggetti fossero a grandi benchè ineguali distanze da noi, il nostro muovere due o tre passi in una direzione qualunque, non produrrebbe alcuna sensibile alterazione nella prospettiva.

Così è chiaro che il sistema Copernicano adempie egregiamente alla prima condizione di una buona ipotesi: render ragione de' principali fenomeni cui si tratta di spiegare. Ma questa sola condizione non basta per costituire una buona ipotesi: è necessario ancora ch' essa non sia in opposizione con alcun altro fatto provato.

Due soli fatti sono stati creduti inconciliabili col sistema Copernicano, ma erroneamente. Uno di questi due fatti consiste nella impressione de' nostri sensi, i quali sembrano dirci che la terra sta ferma sotto i nostri piedi, e che il cielo muovesi di continuo attorno a noi. Ma è facile il comprendere che queste impressioni de' nostri sensi sono semplici illusioni. La terra ci sembra dotata di un' assoluta immobilità soltanto perchè ella ha un' immobilità relativa rispetto agli oggetti a noi più familiari, come sono le case, gli alberi, le montagne, che sono fissati sopra la sua superficie; ed ancora perchè il movimento della terra attorno al proprio asse, ed attraverso agli spazii eterei, meglio che il movimento delle più perfette macchine umane, compiesi senza il più piccolo attrito, senza il più piccolo urto, senza la più piccola vibrazione percettibile ai nostri sensi. Il cielo poi sembra girare attorno a noi, perchè la nostra terra rotando effettivamente attorno al suo asse, fa sì che gli uomini posti alla di lei superficie veggono i corpi celesti ora ad oriente, ora più presso allo zenit, ora presso ponente; e da noi si attribuisce ad essi quel moto assoluto che è proprio della nostra terra, e che per essi non è che un moto relativo. È un' illusione ottica, o piuttosto psicologica, dello stesso genere di quella tanto nota, e tante volte citata, a cui andiamo soggetti quando salpiamo dal porto, e ci sembra non già che la nave si allontani dalla spiaggia, ma la spiaggia si allontani da noi correndo all' indietro.

Provehimur portu, terraeque, urbesque recedunt.

Ma perchè, invece di tale illusione, non abbiamo noi coscienza di quello che avviene in realtà, cioè del vero moto della terra da occidente ad oriente? Se la nave fosse ferma, ed il porto fuggisse veramente indietro, avverrebbe forse l' illusione opposta, di credere che il

porto fosse immobile, e la nave corresse? Se la immobilità della terra fosse reale, ed i corpi celesti girassero davvero attorno alla terra, come credeva Tolomeo, andremmo noi forse naturalmente soggetti all'illusione di credere al moto della terra, ed alla rivoluzione dei cieli? No! E qual è la ragione di una sì strana differenza?

La ragione, o Signori, dipende da una legge psicologica più generale, che è questa: allorquando noi siamo avvezzi sin dall'infanzia a vedere accompagnate insieme due cose nella maggior parte dei casi, se avviene poscia, per qualche caso eccezionale, che i sensi ci attestino la presenza di una di quelle due cose, senza che ci attestino direttamente e chiaramente la mancanza di quell'altra cosa, noi siamo naturalmente tratti a pensarle entrambe presenti. Ora noi siamo avvezzi sin da fanciulli a vedere che muovonsi più spesso e più facilmente i corpi grandi che i piccoli. Per esempio noi vediamo camminar gli uomini e correre i cavalli, ma star ferma sotto di essi la strada; vediamo guizzare i pesci, ma non uscire dalle sue ripe lo stagno che li contiene: vediamo volare gli uccelli, ma rimanersi in quasi perfetta tranquillità gli alberi da cui spiccarono il volo; tremolare per vento le foglie e piegarsi i ramoscelli di quegli alberi stessi, ma non commuoversi il tronco. Osservaste voi mai in una notte mezzo serena, le nuvole spinte dal vento contro la luna? Vi sarà parso non che si muovano le nuvole, com'è il fatto, ma piuttosto che la luna siasi d'improvviso data a correre verso le nubi. E perchè? Per la sola ragione che la luna, quantunque in realtà tanto maggiore delle nuvole, pure, a cagione della distanza, ci sembra più piccola di esse: ed in presenza dell'evidente ed incontrastabile fenomeno del moto relativo pei due oggetti, siamo condotti ad attribuire il moto assoluto a quello che sembra il più piccolo.

Così pure, quando sedete entro un vagone fermato in una stazione di strada ferrata, ed un treno vicino e paralello muovesi di fianco a voi, nel guardarlo che fate per la portiera succede la curiosa e quasi irresistibile illusione, che il vostro vagone sembra essersi tutt' a un tratto messo a correr via, e che l'altro treno, il quale realmente corre, stia fermo: ed avete quasi bisogno di fare attenzione al girar delle ruote dell'altro treno, onde convincervi che è veramente desso quello che muovesi, e non il il vostro. Anche qui il motivo dell'illusione sta nella nostra radicata abitudine di attribuire più volentieri il moto ai corpi piccoli che ai grandi: conciossiachè l'altro treno, del quale scorgete in un'occhiata due o tre vagoni ad un tempo, vi sembra più grande del vostro treno, del quale pel momento non vedete che l'interno di un solo compartimento, ove sedete. Se sporgete il capo dalla portiera, e mirate anche la lunga fila dei vagoni che compongono il vostro convoglio, l'illusione sparisce.

Nel tempo della piena di un torrente o di un fiume, quando le onde minacciose alzansi fin presso alla sommità del ponte, se voi, appoggiandovi al parapetto, mirate fissamente le agitate acque dalla parte della valle, vi nasce una viva impressione che il fiume sia divenuto un mare od un lago in tempesta, e che il ponte mettasi di subito a fuggir via all' indietro: se invece guardate al fiume dall'altra parte vi sembra che il ponte vada rapidamente incontro alle onde, e risalga verso il monte.

Per simile modo, siccome i sensi ci attestano un moto relativo del sole, della luna, e delle stelle rispetto alla terra, e siccome, per la varia distanza, il sole e la luna, e più le stelle, ci sembrano assai piccole, e la terra estremamente grande, così noi siamo naturalmente portati

ad imaginarci che la terra stia ferma, ed i corpi celesti sieno in moto. A voler parlare con maggior precisione, debbo farvi riflettere, o signori, che il pregiudizio del volgo intorno ai movimenti relativi della terra e del cielo, dipende da un errore di raziocinio più che da una illusione dei sensi. L' illusione ottica c' entra; ma unicamente nel farci credere la terra più grande che i corpi celesti: il moto angolare però, anche apparente, del cielo, è troppo lento per poter riuscire direttamente sensibile. Egli impiega 24 ore a compiere un intero giro, ed è quindi due volte più lento che il moto angolare della sfera delle ore nell' orologio, e 24 volte più lento che la sfera dei minuti, e nondimeno nessuno accorgesi del moto della sfera dei minuti. Gli occhi mi dicono direttamente: questa sera il sole è là a ponente: la memoria mi assicura che gli occhi mi mostrarono il sole a levante nel mattino. Qui poi interviene il cattivo raziocinio, e dietro l' abitudine di attribuir il moto alle cose apparentemente piccole più presto che alle apparentemente grandi, se ne cava la storta conseguenza che rimanendo la terra al suo posto, il sole si è mosso.

Nè i sensi sorgono per alcun'altra via a smentire e correggere l' erroneo giudizio, per la già addotta ragione che la terra muovesi equabilissimamente nella sua immensa carriera attraverso agli spazii celesti, senza resistenza alcuna, trascinando soavemente con sè l' atmosfera e noi stessi: ond' è impossibile accorgerci del suo reale movimento, altro che per via di raziocinio.

Sembrava ad alcuni inconciliabile col sistema Copernicano un altro fatto generale, che si può indicare specificamente col noto esempio dell' uccello che vola. Un uccello spicca il volo da un dato punto della terra, e sta per aria un certo tempo: in questo mentre la terra gira velocemente sotto di lui da ponente a levante:

allorchè dunque egli di nuovo si posa, dovrebbe trovarsi a molte miglia a ponente del luogo di dove alzossi quand' anche egli fossesi sforzato di volare verso levante. La risposta a questa obbiezione fu data da Galileo, nei suoi immortali dialoghi intorno al sistema del mondo. Se un sasso cade dalla gabbia o cima dell' albero di una nave mentre questa avanzasi regolarmente senza agitazione, il sasso casca precisamente al piede dell' albero, non già verso poppa; perchè quando il sasso staccossi dalla gabbia, egli era animato dalla stessa velocità progressiva della nave, ed ha conservato questa velocità progressiva anche durante la sua caduta. La velocità rotatoria della terra è di 464 metri al secondo sotto l'equatore; 331^m sotto il paralello di Bologna, 328^m, nella latitudine media di 45°; 232^m alla latitudine di 60°, come a Pietroburgo; zero ai poli. Ma voi sapete che la terra è animata ancora da due altri movimenti: quello della di lei rivoluzione annua attorno al sole, e quello comune a tutto il sistema solare, verso la costellazione di Ercole. Il più rapido di questi tre movimenti è l' annuo, che è, in media, di trenta chilometri al secondo. Se un uomo potesse per un momento perdere il movimento diurno ed annuo cui ha in comune colla terra, senza però sottrarsi all' effetto della gravità, ed egli facesse un salto presso Bologna a mezzodì, in guisa da star per aria un secondo, ei ricadrebbe 30 chilometri, meno 331 metri all' est di Bologna, presso Imola; se lo spiccasse a mezzanotte, ricadrebbe 30 chilometri + 331^m a ovest, presso Modena.

Fortunatamente non è così: imperciocchè all' atto di spiccare il salto io ho la stessa velocità progressiva o rotatoria di quel punto della terra ove io posava il piede, e conservo quella stessa velocità anche mentre sto in aria; cosicchè debbo ricadere quasi esattamente su quello stesso punto, come avverrebbe se la terra fosse immo-

bile. Ho detto quasi esattamente, perchè avvi invero una leggera deviazione dovuta a quel poco di differenza che esiste fra un arco, anche piccolo, e la sua tangente, ed altresì a quella lieve differenza di velocità di rotazione diurna, che appartiensi a punti diversamente distanti dall' equatore e dal centro della terra.

Una tale differenza è affatto insensibile e trascurabile nella maggior parte dei casi pratici: nondimeno se ne tien conto nelle più accurate esperienze di ballistica.

Il paralello medio di 45° ha, come abbiamo detto, una velocità di rotazione diurna pari a 328 metri al secondo: due miglia italiane più al nord, nel nostro emisfero, la velocità del paralello, sempre proporzionale al coseno della latitudine, è 19 centimetri di meno; e due miglia al sud del paralello medio, essa è 19 centimetri di più. Una bomba o palla da cannone, la quale percorresse con una velocità media di 200 metri al secondo, e colla mira ed inclinazione calcolata per colpire due miglia al nord, starebbe per aria 18 secondi e mezzo, e colpirebbe tre metri e mezzo a levante, ossia a destra del bersaglio: lanciata in simil modo verso il sud, colpirebbe a tre metri e mezzo a ponente, ma sempre a destra, del punto mirato. Nell' emisfero meridionale, al contrario, la palla percuoterebbe sempre a sinistra. Ad egual latitudine, la deviazione è in ragion inversa della velocità media della palla, in ragione del quadrato della lunghezza del tiro, e del coseno dell' angolo cui fa il tiro stesso col meridiano: laonde la deviazione è nulla allorchè si tira da levante a ponente, o viceversa. Perciò i tiri a segno pei cannoni e per le carabine si piantano in direzione prossimamente perpendicolare al meridiano. Pei tiri a pistola l'orientazione del bersaglio è senza alcuna importanza; conciossiachè la massima deviazione possibile, dovuta al moto diurno, non sarebbe che una frazione di millimetro.

Tutto ciò che io son venuto discorrendo sin qui, mostra che, malgrado le contrarie apparenze, il sistema Copernicano può esser verissimo: non basta però ancora a dimostrarne la verità effettiva. Vi si richiedono argomenti più positivi. E questi non mancano invero: sono essi in tal numero e di tanto peso, che basterebbe la decima parte di essi a porre fuor di dubbio, nella mente di un saggio filosofo, la verità del sistema di Copernico. Non è opportuno il far qui una regolare esposizione di tali argomenti: non posso però a meno dal notare che se altri invitasse i più grandi astronomi viventi a dare le prove della verità del sistema Copernicano, tutti al certo saprebbero addurne non una ma cento: essi troverebbonsi tuttavia in non lieve perplessità se dovessero darne una sola, la quale da sè abbia l'ordinaria e perentoria forma di un ragionamento rigoroso. Le prove del moto della terra sono tali da portar nell'animo un intero convincimento, soltanto pel forte ed infrangibile fascio cui formano nel loro complesso, non già slegate, e prese separatamente ad una ad una. Per ridurne la conclusione finale a forma di dimostrazione matematica, si richiede il calcolo delle probabilità.

Il più bello, il più efficace, ed anche il più facile a comprendersi da tutti, fra gli argomenti isolati in favore del sistema copernicano, è quello che si desume dalla grandezza relativa della terra e dei corpi celesti. Dal moto relativo del cielo e della terra si deduce con geometrica ed assoluta evidenza che una di queste due cose dee certamente avvenire: o che le stelle girano attorno alla terra, o che la terra gira attorno al proprio asse. Quale di queste due supposizioni è intrinsecamente più verosimile? Gli antichi credevano più verosimile la prima; benchè alcuni anche fra essi, e principalmente i più eminenti intelletti, come Platone e Pittagora, sembrano aver

preferito l' ipotesi del moto della terra. Ma essi non possedevano i mezzi che noi abbiamo per giudicare delle enormi distanze e delle grandezze assolute del sole e delle stelle. Ove il sole e la luna non fossero che piccoli dischi lucenti, del diametro di una spanna, quali sembrano agli occhi nostri; se le stelle fisse, invece di essere milioni e milioni di soli quali elleno sono, assai più grandi della terra, e distanti dei bilioni di leghe, non fossero che poche migliaia di splendidi chiodi infissi all' azzurra volta del cielo, come ne hanno l' apparenza, sarebbe cosa ragionevolissima il supporre che essi compiano un giro attorno alla terra ogni ventiquattro ore, piuttosto che abbia a muoversi la gran mole terrestre: ma oggi che sappiamo che ogni stella è molte migliaia o milioni di volte più grande che la terra, e che tutti quei milioni di soli, per girare attorno alla terra in 24 ore, sopra una circonferenza di almeno mille bilioni di miglia, dovrebbero avere una velocità di più di dieci mila milioni di miglia al minuto secondo, noi dobbiam ritenere più consentaneo alla saggia economia della natura il supporre che il moto diurno del sole, dei pianeti, e delle innumerevoli stelle sia un' illusione ottica, e che il picciolo globo della terra giri attorno al proprio asse colla mediocre velocità di meno che un mezzo chilometro al secondo.

Qui però il logico rigoroso potrebbe fermarci e far due obbiezioni. Voi affermate, dirà egli, che le stelle sono altrettanti soli, grandi più della terra, e a distanza di varii bilioni di leghe: amo di credervi; se però pretendete di trarre da questo fatto un argomento in favore del sistema copernicano, voi commettete un circolo vizioso: imperciocchè la esorbitante distanza delle stelle si deduce unicamente dalla circostanza che la loro parallassi non è sensibilmente aumentata nè diminuita, osservandole a sei mesi di intervallo di tempo, da due op-

posti punti dell' orbita terrestre; quindi si suppone già ammessa la verità del sistema copernicano. Così parimenti per determinare le distanze della maggior parte dei pianeti, dalle quali distanze poi, dati i loro diametri apparenti, si deducono le grandezze reali, voi avete bisogno delle leggi di Keplero: ma le leggi di Keplero suppongono già il sistema copernicano.

L' obbiezione è giusta; e per evitarla, fa di mestieri il modificare alquanto la forma dell' argomento. La parallassi della luna, dalla quale si deduce la sua distanza di oltre dugentomila miglia, è fondata semplicemente sopra i diversi angoli delle visuali, osservando contemporaneamente la luna da due lontani punti della terra, e sopra calcoli geometrici affatto indipendenti dal sistema copernicano. Così pure la parallassi di Marte, alla sua minor distanza da noi, è indipendente tanto dal sistema copernicano, che dal Tolemaico, o da altre ipotesi: e se ne trae che Marte, al tempo della sua opposizione al sole, dista da noi almeno quaranta milioni di miglia. Allorchè poi egli è vicino alla sua apparente congiunzione col sole, il suo diametro apparente è cinque volte più piccolo, donde si arguisce che egli è cinque volte più distante da noi che quando egli trovavasi in opposizione col sole. Ora, se fosse vero il sistema di Tolomeo, come potrebbe Marte impiegare egualmente 24 ore a descrivere dei circoli così enormemente disuguali?

Di Giove e di Saturno non si potrebbero conoscere le precise distanze senza prima ammettere il sistema Copernicano e le leggi di Keplero; ma indipendentemente da queste leggi si sa da noi, ed era noto anche agli antichi, che Giove è sempre più lontano che Marte, e Saturno più lontano di Giove: dunque entrambi sono certamente più lontani di dugento milioni di miglia.

Anche Tolomeo e gli altri antichi astronomi avevano

scoperto che le stelle fisse sono più distanti di Saturno. Che il loro numero sia di molti milioni, noi lo sappiamo con certezza per mezzo del telescopio, senza bisogno di conoscere prima il sistema Copernicano. Ora se Giove e Saturno sono distanti più di dugento milioni di miglia, sapendo noi per mezzo di delicate osservazioni micrometriche, che il diametro medio apparente di Giove è prossimamente 37″, e quello di Saturno più di 16 secondi, ne dedurremo senza tema di errore che il volume di Giove è almeno 170 volte, e quello di Saturno almeno 13 in 14 volte più grande che la terra.

Queste non sono ancora, a gran pezza, le moli e le distanze che potremo con sicurezza attribuire a questi due pianeti, dopo che ci saremo accertati della verità del sistema Copernicano: ma sin d'ora, non è egli oltremodo inverosimile che due così grandi globi, superiori, fra tutti e due, almeno 180 volte in grandezza alla terra, facciano ogni giorno più di milledugento milioni di miglia attorno alla terra, unicamente, dirò così, per risparmiare al nostro piccolo pianeta l'incomodo di girare attorno a sè stesso, con una velocità di rotazione sessantamila volte più piccola?

Quanto maggiore poi sarà l'assurdo di supporre che debbano compiere un intero giro intorno alla terra, in ogni giorno, i settanta e più milioni di stelle fisse? Lasciate pure che gli avversarii di Copernico neghino alle stelle la loro reale distanza di almeno sedici bilioni di miglia: ma essi non potranno negare che le stelle distano da noi più di dugento in trecento milioni di miglia, e che risplendono di luce propria come il sole; e quand'anche volessero impugnare che la loro grandezza assoluta sia paragonabile a quella del sole, non oseranno negare la probabilità che molte di esse siano almeno più grandi di Saturno. Ora la Natura

sarebbe ella così poco saggia economa da mantenere in una assoluta immobilità la terra, onde far correre senza tregua attorno ad essa tutti quei milioni di globi di lei più grandi, con una velocità centomila volte più grande di quella cui basta il supporre nella rotazione della terra stessa per ispiegare l'apparente moto diurno del cielo?

Ma qui il severo logico riprende a parlare, ed osserva: sarà improbabile il moto de' corpi grandi attorno ai piccoli, quanto volete: ma non dee dirsi perciò impossibile. Anche una gran ruota può girare attorno ad un piccolo asse. Questo vostro primo argomento, adunque, in favore del sistema copernicano, gli conferisce bensì una qualche probabilità; ma non ancora la certezza. Datemi, dice egli, qualche altra prova.

È giusto. Sentitene prima due altre, e tali da potersi in qualche guisa toccar con mano.

È notissima l'esperienza del pendolo di Foucault: lo è molto meno quella del Guglielmini iuniore, fatta sin dall'anno 1792: imperciocchè delle scoperte italiane si sa e si parla assai meno, anche dagli scienziati italiani, che delle cose d'oltremonti. L'esperimento del Guglielmini iuniore, da non confondersi col suo omonimo il celebre idraulico del secolo decimosettimo, serve al pari del pendolo di Foucault, a far toccare con mano una prova del moto della terra, ed è più facile a comprendersi, benchè più difficile ad eseguirsi con sufficiente precisione. In un corpo che ruota attorno ad un asse, i punti più distanti dall'asse hanno una velocità di rotazione maggiore che quelli all'asse più vicini. Adunque, pensò il Guglielmini iuniore, se è vero che la terra giri attorno a sè stessa, la cima di una torre deve avere una velocità di rotazione più rapida che la sua base. Abbandonando un grave dall'alto della torre, questo grave

non cadrà nè ad oriente nè ad occidente se la terra è immobile, ma cadrà alquanto ad oriente se la terra è soggetta al moto diurno da ponente a levante. Non già che la differenza dovesse essere tutta quella cui sognavano gli avversarii di Copernico, quasi che la palla avesse dovuto star ferma per aria mentrè muovesi la terra; ma la deviazione della caduta della palla, paragonata col filo a piombo, sarà dovuta unicamente a quel poco di differenza che avvi fra la velocità di rotazione diurna al vertice della torre, ed alla base. Il filo a piombo deve sempre rimaner perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti, tanto nell'ipotesi Tolomaica, o della quiete assoluta della terra, quanto nell'ipotesi Copernicana, o del moto della terra.

Il Guglielmini scelse per luogo del suo esperimento l'interno della torre degli Asinelli, a Bologna, una delle più alte d'Italia. La totale di lei altezza è di quasi cento metri; ma la parte della sua altezza ove fu fatto l'esperimento, cioè dalla volta del pianerottolo superiore sino al pianerottolo che è incirca a livello del terrazzo merlato, era di circa 80 metri soltanto. Aperti in modo opportuno dei fori nei varii pianerottoli interni della torre, Guglielmini lasciò cadere dalla volta superiore delle palle di piombo; e queste segnavano la traccia della loro caduta sopra uno strato di creta plastica di cui era coperto il pianerottolo inferiore. Il punto di sospensione, dal quale, abbruciato il filo che le sosteneva, si lasciavano cadere le palle, descrive attorno all'asse della terra, in un minuto secondo ed in virtù del moto diurno, un arco lungo quattro millimetri di più che l'arco descritto in egual tempo dal punto ove arrestavasi la caduta. Ora questa caduta di ottanta metri, che dovrebbe occupare quattro secondi se non vi fosse la resistenza dell'aria, durava di fatto cinque secondi; dunque nel

mentre che la palla cadeva con una velocità accelerata verticale, prodotta dalla gravità, ma con una velocità orizzontale pari a quella del piano superiore della torre, questo piano superiore era trascorso verso oriente quattro via cinque, ossia venti, millimetri di più che il pianerottolo inferiore: conseguentemente la palla doveva piantarsi nell'argilla venti millimetri a levante del punto che corrispondeva al filo a piombo precedentemente calato dal punto di partenza. Naturalmente, malgrado tutte le precauzioni, e principalmente quella di eseguire l'esperienza nel cuore di una notte quietissima, non si potevano mai eliminare tutte le cause di irregolarità, e la palla cadeva ora in un punto ora in un altro. Ciò non di meno, presa la media risultanza di molte prove, si trovò che la palla cadeva diciotto millimetri e mezzo a levante del filo a piombo: accordo, in pratica, più che sufficiente, anzi mirabile, fra la teoria ed il fatto.

L'esperimento del Guglielmini fu ripetuto anche in Germania con simili risultati.

Molto maggior grido ottenne l'esperimento del pendolo, eseguito primamente dal Foucault nel 1851, sotto la cupola del Pantheon di Parigi. Il pendolo aveva una lunghezza di 64 metri, cioè quasi eguale all'altezza dell'edifizio, e portava una grossa palla pesante 28 chilogrammi. La voga straordinaria dell'esperienza di Foucault può ascriversi in gran parte alla prominente influenza cui godeva tuttora la Francia, vent'anni or sono, nel mondo politico e scientifico; ma fu dovuta altresì alla bellezza e facilità dell'esperimento stesso; cosicchè esso venne ripetuto a gara in migliaia di luoghi, per tutta l'Europa ed in America.

Il concetto e l'apparecchio di Foucault possono brevemente esporsi così. Un pendolo rimosso dalla verticale tende a mantenere le sue oscillazioni in un piano sempre

paralello al primitivo piano d'oscillazione, non ostante lo spostamento o rotazione del punto di sospensione. Se il piano sottoposto al pendolo ha un moto rotatorio, ma è creduto immobile, il pendolo sembrerà deviare continuamente dal primitivo piano di oscillazione, in una direzione opposta a quella del vero moto del piano sottoposto. Accumulando sul suolo un arginello circolare di fina sabbia, col centro sotto al punto di sospensione, in guisa che una punta fissata alla parte inferiore della palla sfiori leggermente la crosta dell'arginello di qua e di là, si vede un nuovo solco nella sabbia ad ogni oscillazione. Nel nostro emisfero settentrionale uno che si collocasse dentro al circolo dell'arginello, vedrebbe il solco progredir sempre ad ogni passo da sinistra a destra; nell'emisfero australe, lo vedrebbe progredire da destra a sinistra. Nel grande esperimento di Foucault, sotto la cupola del Pantheon di Parigi, il passo del pendolo sull'arginello era di due millimetri e mezzo ad ogni doppia oscillazione, la quale durava sedici minuti secondi. Mi rammento la solenne e profonda impressione, cui produceva nelle anime riflessive un siffatto esperimento, ovunque era ripetuto. Ci pareva di veder realmente girare la gran mole della Terra!

Il calcolo dimostra, e l'esperienza conferma, che, dato il moto diurno della terra, il pendolo, oscillando presso uno dei due poli, intaccherebbe coi solchi l'arginello sopra un arco di 15 gradi ogni ora siderea; quindi ne farebbe l'intero giro in 24 ore; e che in altre località l'arco di deviazione, percorso dal piano del pendolo in un'ora, è proporzionale al seno della latitudine.

Il pendolo somministra pure altre belle prove conosciute da più lungo tempo, della rotazione della terra: essendochè il tempo dell'oscillazione di un pendolo di data lunghezza è sempre alquanto più lungo presso

l' Equatore che presso i poli, per la doppia ragione che la forma della terra è sferoidale, e la forza centrifuga, minima ai poli, è massima all' equatore.

La fisica del globo trova un' altra insigne prova del moto diurno della terra nei venti Alisèi. Jo dimostrai in altra lezione che se la terra è soggetta al moto diurno di rotazione da ponente verso levante, la direzione prevalente del vento dev' essere nel senso del moto apparente del sole fra i due paralelli neutri di 35°, al nord e al sud della linea equinoziale, e nel senso contrario al di fuori di quei due paralelli, come di fatto avviene.

Persino l' esempio degli altri pianeti concorre a confermarci nell' idea del moto diurno della terra. Hanno certamente un moto rotatorio intorno al loro asse i tre pianeti a noi più vicini, Mercurio, Venere e Marte; e di più il periodo della loro rotazione è prossimamente eguale a quello della terra, cioè di 24 ore, più o meno pochi minuti. I due più grossi pianeti, Giove e Saturno, hanno chiaramente un periodo di rotazione molto più rapido ancora, cioè di circa dieci ore. La luna è certo dotata di un moto di rotazione attorno al proprio asse, dissimulato in apparenza, ma dimostrato in realtà, dal suo rivolger sempre la stessa faccia verso di noi: ed il periodo della sua rotazione è di 27 giorni, 7 ore e 43 minuti, ammesso che sia il sistema copernicano: sarebbe molto più rapido, ove non fosse ammissibile il moto della terra, perchè coinciderebbe col periodo dell' apparente rivoluzione diurna della luna attorno alla terra, cioè 24 ore e 51 minuti. Vi sono pure evidenti indizii di un moto rotatorio nei satelliti di Giove e di Saturno. Se esistono dei dubbi sulla rotazione delle planetoidi, e dei due pianeti primarii più lontani, Urano e Nettuno, come pure dei loro satelliti, non è già perchè vi siano degli indizii positivi della loro mancanza di rotazione, ma sol-

tanto perchè l'estrema loro lontananza o piccolezza ci impedisce di verificare quel moto rotatorio del quale probabilmente sono forniti in realtà. Che più? Ruota certamente anche il Sole, e con grandissima rapidità, comparativamente alle sue enormi dimensioni. L'analogia adunque renderebbe probabile un movimento rotatorio della terra, quand'anche non ne avessimo altre prove più sicure.

I sei argomenti da me sinora addotti riferisconsi direttamente alla parte più esenziale del sistema copernicano; il moto diurno della terra: porrò ora innanzi le principali prove del moto annuo. La più bella forse e la più decisiva di tutte consiste nella così detta aberrazione della luce. Se la terra fosse immobile, o se, anche movendosi ella, la velocità della luce fosse infinita, ogni stella sarebbe da noi veduta dove ella è veramente, cioè il prolungamento della visuale apparente passerebbe esattamente pel luogo della stella. Ma Bradley, lo scopritore dell'aberrazione della luce, riflettè che, siccome la propagazione della luce non è istantanea, ma solamente rapidissima, e la di lei velocità effettiva ha un rapporto determinato e finito alla velocità del moto annuo della terra nella sua orbita, così ogni corpo celeste deve comparirci di essere non nella sua vera posizione, ma nella direzione della risultante delle due velocità, prendendone una a rovescio, come si fa in generale per trovare la velocità relativa di due corpi che s'incontrano. Così, quando piove, anche senza che faccia alcun vento, ma noi siamo in un cocchio scoperto il quale corra rapidamente, ci sembra che la pioggia non cada in direzione verticale, come veramente essa cade, ma che il vento ce la spinga obliquamente contro la faccia ed il petto.

La velocità assoluta della luce, determinata per mezzo delle ecclissi dei satelliti di Giove, e delle espe-

rienze fisiche, è incirca di 300,000 chilometri al secondo; la velocità del moto annuo della terra è incirca 30 chilometri, ossia diecimila volte più piccola che la velocità della luce. Se ne inferisce, per mezzo di un ragionamento geometrico, che tutti i corpi celesti descrivono apparentemente in cielo, nel periodo di un anno, una piccola ellissi, la quale ha per centro il luogo vero della stella, ed il cui asse maggiore, paralello all' Ecclittica, occupa un arco della volta celeste eguale a 40", od incirca una quarantottesima parte del diametro apparente della luna. L' asse minore dell'ellissi d'aberrazione è in ragion inversa del seno della latitudine, ossia della distanza angolare dell' Ecclittica: ond' è che le stelle ed i pianeti situati sull' ecclittica sembrano descrivere in sei mesi un archetto lungo 40", il di cui punto di mezzo corrisponde alla vera posizione dell' astro; mentre le stelle situate presso i poli dall' Ecclittica, ossia a novanta gradi da essa, descrivono apparentemente, attorno alla loro vera posizione, un piccolo circolo, il cui raggio è uguale a 20". Un arco di 20 minuti secondi è per l' appunto, o prossimamente, la diecimillesima parte del raggio del circolo, cioè in quello stesso rapporto che abbiam trovato fra la velocità della terra nella sua orbita, e la velocità della luce.

Tali sono le rigorose conseguenze cui la Geometria deduce dall' ipotesi che la terra giri attorno al sole in un anno. Facciamoci ad esaminare il cielo coi più delicati istrumenti e coi più accurati calcoli, per vedere se cosiffatte illazioni corrispondono al fatto. Esse vi corrispondono in un modo maravigliosamente preciso. Ne sorge una luminosa conferma del sistema copernicano: ma ne scaturisce un' altra conseguenza anche più importante che la conferma del sistema copernicano; imperciocchè, a dir vero, quantunque l' aberrazione

della luce sia la più bella e decisiva prova della verità del sistema copernicano, esso ne ha già tante altre che potrebbe anche far di meno di questa: ma la costanza di quel valore di circa 40", appartenente all'asse maggiore delle ellissi d'aberrazione di tutte le stelle, in qualsivoglia parte del cielo, dalle più remote nebulose sino alle più vicine stelle di prima grandezza, prova dapprima che la velocità della luce diretta, proveniente dalle stelle, è costante, ed eguale a diecimila volte la velocità del moto annuo della terra, quindi ancora eguale alla velocità diretta della luce del sole, e della sua luce riflessa dai pianeti, come si deduce dalla anticipazione o ritardo delle ecclissi dei satelliti di Giove (Lez. LIV, pag. 244). Questa uniformità della celerità e del modo di propagazione della luce, prova poi un altro gran fatto; cioè che l'etere, dalle di cui vibrazioni dipende la luce, è non solo della stessa natura, ma della medesima densità attraverso a tutte le parti dello spazio enormissimamente vasto del nostro Cosmos.

Altre numerose prove del moto annuo della terra si ottengono dalle leggi di Keplero, e dalla teoria neutoniana dell'attrazione universale: imperciocchè le leggi di Keplero ed il sistema neutoniano suppongono di necessità i moti diurno ed annuo della terra.

Cerchiamo omai di avviare tutti questi sparsi argomenti ad una finale conchiusione per mezzo del calcolo delle probabilità (Lezioni VIII, XII).

Non sarebbe facile, anche in un trattato puramente scientifico e speciale, esaurire rigorosamente un tale assunto: ma è còmpito breve accennare le traccie del calcolo, ed il risultato esenziale. Io v'ho addotto esplicitamente nove argomenti in favore del sistema copernicano: la grandezza e le distanze de' corpi celesti; la caduta dei gravi verso oriente: lo spostamento apparente del

piano d'oscillazione dei pendoli; il rallentamento delle loro oscillazioni presso ai poli; i venti alisei; la rotazione degli altri pianeti e del sole; l'aberrazione della luce delle stelle; le leggi di Keplero; e la teoria neutoniana dell'attrazione universale. Ciascuno di questi argomenti si potrebbe suddividere in moltissimi, cioè in tanti quanti sono i casi speciali osservati.

Supponete per esempio che esistesse una sola stella fissa, e che per essa si trovasse verificato il fatto preveduto dalla teoria, dipendente dal moto annuo della terra, cioè che la stella sembri descrivere un'ellissi coll'asse maggiore lungo 40 secondi e paralello al piano dell'orbita terrestre. Questo solo fatto sarebbe già un argomento da non disprezzarsi in favore del sistema copernicano: ma altri potrebbe forse sospettare che il fenomeno fosse accidentale, o particolare soltanto a quella stella. Se ne osserva una seconda; e verificasi anche per lei appuntino la teoria dell'aberrazione, dipendente dal supporre il moto annuo della terra attorno al sole. Il caso potrebbe produrre anche questa seconda coincidenza, come può produrre la prima, come ne può produrre una terza, ed un numero qualunque, indipendentemente dalla teoria copernicana: ma la probabilità complessiva che debbano verificarsi tutte queste casuali coincidenze è espressa dal prodotto delle frazioni che indicano le separate probabilità della coincidenza fortuita: e questo prodotto indicherebbe una inverosimiglianza così strepitosa da equivalere praticamente all'assoluta impossibilità.

Supponiamo, per abbreviare ed agevolare il calcolo, tenendoci però ancora molto lontani dall'oltrepassare i limiti della sicurezza, che gl'indizii separati, in favore del sistema copernicano, invece di essere molte migliaia, come sono, fossero soltanto un centinaio, e che ciasche-

duno di essi, anche separatamente preso, dia una probabilità almeno del novanta per cento, o nove decimi, in favore di Copernico. Il *complemento* di ciascuna di queste probabilità saparate, sarà dunque un decimo; e la probabilità *composta* che sieno contemporaneamente fallaci tutti i cento indizii è una frazione di cui il numeratore sarà l'unità, ed il denominatore sarà la centesima potenza del 10, ossia l'unità seguita da cento zeri: ciò che si direbbe, secondo la nomenclatura Italiana, Inglese e Tedesca (Lez. I, pag. 29), *diecimila sedicilioni.*

Non avendosi un solo indizio serio il quale contrasti al sistema copernicano, la teoria delle probabilità ci insegna (Lez. XII, pag. 140) che la probabilità di esso sistema sarà il *complemento del prodotto dei complementi* delle separate probabilità; in altri termini, una verosimiglianza così strabocchevole, che esprimendola in linguaggio di scommesse pro e contro, se gli avversarii del sistema copernicano scommettessero *uno* contro di noi, noi, in equità, possiamo scommettere contro di essi una somma di diecimila sedicilioni.

Una probabilità espressa in tal modo, ed anche altre espresse con cifre molto più semplici, possono e debbono ritenersi come praticamente equivalenti alla morale certezza. Suppongo che sia notte, e che io interroghi un avversario del sistema Copernicano: credi tu che esista il sole? Certamente, risponderà egli. Ma, insisto io, perchè lo credi tu? Dappoichè interpretando alla lettera un libro rispettabile sotto molti rapporti, ma scritto per tutt' altro scopo che per insegnare la Fisica e l'Astronomia, tu sei ciecamente persuaso che Dio abbia creato il sole dal nulla, e che Giosuè abbia fermato questo medesimo sole per un intero giorno, tu, per essere coerente a te stesso, devi ben ammettere ancora

che ad un momento qualunque Dio potrebbe ripiombare il sole nel nulla, prima ancora di annichilire la terra. Siccome ora, per ipotesi, è notte, e tu non vedi il sole, chi ti assicura ch' egli non abbia già cessato di esistere? — Ciò non è menomamente probabile, risponde l'avversario di Copernico. — Io glie l'accordo volentieri. La certezza che il sole esiste tuttora, è per me fondata sopra argomenti più forti; ma per gli avversarii di Copernico la certezza di un tal fatto ridurrebbesi all'argomento di analogia: fortissimo ancora, e sufficiente; lo so. Il sole è certamente esistito da quasi seimila anni in qua, potrebbe ragionevolmente dire il padre Riccioli; cioè ha esistito per due milioni di giorni senza interruzione; vi è una probabilità di almeno due milioni contr'uno, che il sole continuerà ad esistere almeno per un altro giorno di più. — Sta bene: una probabilità di due milioni contr'uno equivale in pratica alla certezza morale. Ma quella del sistema copernicano traducesi per noi in una cifra molto più forte ancora. Non voglio già dire con ciò che la verità del sistema copernicano sia più evidente che l'esistenza del sole; sono due fatti assolutamente certi l'uno e l'altro; ed il primo non può stare senza il secondo: io intendo soltanto dir questo: che i nostri argomenti per dimostrare il duplice moto della terra attorno a sè stessa ed al sole, sono ancora più stringenti che quelli ai quali sareste ridotti voi, seguaci di Tolomeo, per dimostrare l'esistenza del sole.

LEZIONE LVII

I quattro pianeti tellurici.

Abbenchè tutte le scienze positive, nei tempi moderni, abbiano fatto dei grandi progressi, nessuna forse ne ebbe dei più mirabili ed insigni che la scienza degli astri. Impossibile cosa sarebbe il dare un' adeguata idea di tutte le scoperte fatte dai moderni astronomi, in una breve serie di lezioni. D' altra parte io vorrei egualmente fuggire due scogli, quello di essere troppo elementare, e l' altro opposto, quello di non essere interamente compreso da tutti i miei gentili uditori. La presente lezione rasenterà più da vicino il primo scoglio, che il secondo; cioè sarà più facilmente tassata di troppo elementare di quello che di troppo ardua: imperciocchè io mi limiterò a trattare in questa lezione intorno ai tre pianeti più vicini alla terra, e ne dirò principalmente quelle cose le quali sogliono più interessare e piacere a tutti, e cui molti già conoscono, ma che nonpertanto non possono convenientemente lasciarsi in disparte in un corso popolare di Astronomia.

I corpi celesti possono dividersi in tre categorie, molto disuguali per numero e per grandezza: e sono le stelle, e le comete. I pianeti sono grandi corpi solidi e rotondi che girano attorno ad una stella o sole, e ricevono da lui il lume per cui risplendono. Noi non conosciamo che i pianeti che fan corteo al nostro sole.

I pianeti suddividonsi ancora in due categorie: i pianeti primarii aggiransi direttamente intorno al sole, descrivendo delle ellissi poco schiacciate, delle quali il sole occupa un fuoco: i pianeti secondarii, o satelliti, descrivono delle orbite più ristrette, ma egualmente ellittiche, e di poca eccentricità, attorno ad un pianeta primario, in compagnia del quale essi girano contemporaneamente attorno al sole.

I pianeti primarii del nostro sistema suddividonsi in tre gruppi: il gruppo tellurico; il gruppo delle planetoidi od asteroidi; ed il gruppo dei grandi pianeti.

Il gruppo tellurico, così chiamato perchè la terra, in latino *tellus*, ne fa parte, comprende i quattro pianeti più vicini al sole: Mercurio, Venere, la Terra, e Marte. I caratteri comuni dei quattro pianeti di questo gruppo sono in primo luogo la minor distanza dal sole, e le necessarie conseguenze che ne derivano di ricever dal sole stesso un' assai maggior quantità di luce e di calore, in proporzione alla lor superficie, e di avere dei periodi di rivoluzione attorno al sole, più brevi che i pianeti degli altri due gruppi. Un' altra comune caratteristica dei quattro pianeti del gruppo tellurico, si è la mediocrità delle loro dimensioni e delle loro masse, essendo eglino molto più grandi che i pianeti del secondo gruppo, e molto più piccioli che i pianeti del terzo gruppo. Spetta ai quattro pianeti tellurici un' altra particolarità in comune, quella di avere un periodo quasi precisamente eguale di rotazione attorno al loro rispettivo asse, cioè prossimamente di ventiquattro ore. È ignota la rotazione delle planetoidi, e dei due più lontani fra i quattro pianeti del maggior gruppo; ma le rotazioni dei due maggiori pianeti di quel gruppo, cioè Giove, e Saturno, presentano pure una certa somiglianza, quasi direbbesi, di famiglia, nell' essere press' a poco eguali fra loro, cioè

di circa dieci ore; quindi molto più rapide che le rotazioni dei pianeti del gruppo tellurico. Infine l'aria comune di famiglia, nel gruppo tellurico, spicca pure dalla loro considerevole densità, mentre è molto minore la densità dei quattro pianeti estremi.

Diciamo qualche cosa di più speciale intorno a ciascheduno dei quattro pianeti tellurici. Mercurio è, fra tutti i pianeti conosciuti, il più vicino al sole. Non si è potuto verificare la scoperta cui il Dottore L'Escarbaud credeva di aver fatta, di un piccolissimo pianeta intramercuriale, cioè dentro all'orbita di Mercurio. Può darsi che ve ne siano non uno ma molti, certamente però piccolissimi: e formerebbero un'altra famiglia o gruppo, affatto distinto, e meno interessante che non sono i tre gruppi ben noti.

La distanza media di Mercurio dal Sole è di circa quattro decimi della distanza della Terra dal sole stesso: più precisamente la distanza media di Mercurio è stimata 0. 3870987, od assai prossimamente 387 millesimi, della distanza media della terra dal sole. Non è a credersi che quella frazione decimale, spinta sino alla settima cifra, sia direttamente dedotta dalla parallassi del pianeta; è dedotta invece dalla lunghezza del periodo di rivoluzione, che è noto con molta precisione per tutti i pianeti, specialmente per quelli di breve periodo, mediante la terza legge di Keplero, ed i passaggi del pianeta pe' suoi nodi, ossia per l'intersezione della sua orbita col piano dell'ecclittica. La durata della rivoluzione siderale di Mercurio è quasi esattamente di 88 giorni meno 44 minuti. Ma l'eccentricità dell'orbita di Mercurio è molto più sensibile che l'eccentricità degli altri più grandi pianeti. Quella di Mercurio è prossimamente un quinto, cioè le distanze perielia, media, ed afelia stanno rispettivamente fra loro come 4 : 5 : 6. Una tale

eccentricità apparisce abbastanza sensibile anche nel nostro piccolo quadro (Tav. I, pag. 400); e, ciò non ostante, la figura dell' orbita ellittica di Mercurio, benchè realmente schiacciata, ad occhio distinguesi a stento da un perfetto circolo.

Le nostre cognizioni sulla distanza assoluta e sulla grandezza di Mercurio, come sulla distanza e grandezza degli altri pianeti, dipendono dalla nostra cognizione della distanza della terra dal sole. Se è esatta la parallassi del 1769, la distanza media di Mercurio dal Sole è eguale a 4644 diametri dell' equatore terrestre, o prossimamente 32 milioni di miglia italiane. Il diametro di Mercurio sarebbe 0. 39 di quello della terra; e quindi il volume di Mercurio un diciassettesimo di quello della Terra. Se, invece, è giusta la parallassi del 1864, fa d' uopo detrarre il 3 per 100 alla distanza ed al diametro, ed il 9 per 100 al volume; cosicchè il volume di Mercurio sarebbe incirca 0.054, o poco meno di un diciottesimo del volume della Terra.

Siccome i diametri e le distanze di Mercurio, della Terra, e di Saturno dal Sole serbano incirca la stessa proporzione, ne segue che Mercurio, più piccolo, ma più vicino al Sole, riceve dal gran luminare prossimamente la stessa quantità assoluta di luce e di calorico che la Terra, e Saturno: se non che, essendo quelle eguali quantità distribuite sopra superficie differentissime, ne tocca a Mercurio, sull' unità di superficie, solamente il 15 per cento di quella che ne tocca alla Terra; val a dire che Mercurio ne ha quasi sette volte più che la Terra; e questa poi ne ha, sempre sull'unità superficie, novantuna volte di più che Saturno.

Per quanto alta esser possa la temperatura media alla superficie di Mercurio, e nella sua atmosfera, la quale sembra essere molto estesa, è certo che il nucleo

di quello, come di tutti gli altri pianeti, sarà molto più caldo ancora; di fatti, in una parte oscura del disco di Mercurio, poichè egli ha le sue fasi simili a quelle della luna, Schroeter intravide un punto luminoso, cui egli, con plausibile verosimiglianza, attribuì ad un vulcano in eruzione.

Siccome l'orbita di Mercurio è interna a quella della terra, e più vicina al sole che all'orbita terrestre, l'intervallo di distanza fra noi e Mercurio varia in grandi proporzioni. Se egli trovasi rispetto a noi in *congiunzione inferiore* col Sole, e di più egli sia nel suo afelio, mentre la Terra è nel suo perielio, ha luogo la minima distanza fra noi e Mercurio: distanza la quale è allora di circa 28 milioni di miglia: ove, per lo contrario, la Terra fosse in afelio, e Mercurio pure nel suo afelio, ma in *congiunzione superiore*, al di là del sole, la distanza fra noi e Mercurio sarebbe al suo massimo, ed eguale a quasi 132 milioni di miglia, cioè quasi quintupla della distanza minima.

A cagione della piccolezza relativa dell'orbita di Mercurio, la sua massima *elongazione*, vuol dire la sua maggior distanza angolare dal sole, agli occhi nostri, non oltrepassa i ventinove gradi; ond'è che egli precede al più di due ore, o poco di più, il Sole, quando Mercurio è visibile nel mattino; ed egli tramonta al più tardi due ore, o poco di più, dopo il Sole, quando Mercurio è visibile nella sera. In tali circostanze egli apparisce come una bianca e splendida stella di prima grandezza. In altri tempi è difficile osservarlo, per esser egli immerso nel crepuscolo matutino o vespertino. Dicesi che il gran Copernico deplorasse di non averlo mai potuto vedere nel poco sereno cielo della sua Polonia.

Facilissima invece a vedersi è Venere, il più vago e brillante di tutti gli astri del cielo, dopo il sole e la

luna. Il popolo la chiama la stella matutina, allorchè ella splende nel mattino, alzandosi prima del sole; la chiama stella della sera, quando ella splende nel pomeriggio. Gli antichi la chiamavano ancora *Lucifer*, o portatore di luce, nel primo caso, e *Vesper* od *Hesperus*, nel secondo. Essa può essere egualmente splendida nell'uno e nell'altro caso: ma le circostanze fisiche e l'imaginazione conferiscono alla di lei luce un incanto più caro e poetico, allorchè ella scintilla in cielo nelle ore matutine. Non ebber torto gli antichi astronomi di dare a questo pianeta il nome della Dea della bellezza e dell'amore. In certe circostanze più favorevoli, le quali si verificano ogni otto anni, Venere è ben anche visibile nella pienezza del giorno; nel qual caso essa non manca mai d'attrarre l'attenzione e la meraviglia del popolo.

La rotazione intorno al suo asse compiesi in 23 ore e 21 minuti. La rivoluzione *siderea*, ossia il periodo della di lei rivoluzione attorno al sole, è di 225 giorni, meno 7 ore ed 11 minuti. La sua rivoluzione *sinodica* però, od il periodo che si richiede perchè ella ritorni in una stessa posizione di congiunzione, inferiore o superiore, rispetto a noi ed al sole, è necessariamente più lungo: conciossiachè mentre essa gira attorno al sole, giriamo noi pure nello stesso senso, benchè più lentamente, e le vuole un po'di tempo a raggiugnerci, per oltrepassarci poi tosto di nuovo nella gran ridda. Il periodo della rivoluzione sinodica di Venere è di 584 giorni.

Tre o quattro giorni dopo la congiunzione inferiore, Venere incomincia a farsi vedere all'oriente, precorrendo dapprima il sole nascente di un venti minuti, poi precorrendolo di un intervallo ognora maggiore, e divenendo sempre più fulgida, sinchè arriva ad una elongazione di 40 gradi incirca, posizione in cui ella suole

avere il suo massimo splendore. Poscia la di lei elongazione cresce ancora di cinque o sei gradi, indi diminuisce, accostandosi alla congiunzione superiore: ma intanto il pianeta rimane *stella del mattino*, e non si vede punto la sera, per un seguito di circa 284 giorni. Dopo di ciò Venere diviene invisibile, per la troppa vicinanza angolare al sole. Trascorsi nove in dieci giorni di invisibilità, ella ricompare di nuovo, ma ad occidente, e dopo il tramonto del sole. Essa è omai divenuta la *stella della sera*, e rimarrà tale per altri 284 giorni di seguito. Infine ella ridiverrà invisibile per un sei o sette giorni, all'epoca della sua nuova congiunzione inferiore, per divenir poscia un'altra volta la stella matutina; e così di seguito.

Tredici anni di Venere fanno quasi esattamente otto anni terrestri. Da questa notabile relazione dipende il periodo della visibilità di Venere in pieno giorno; ed altresì il periodo de' suoi passaggi sul disco solare. Il penultimo passaggio di Venere accadde il 5 giugno 1761, e l'ultimo passaggio, quello di cui profittarono gli astronomi per meglio precisare la parallassi del sole, e quindi la sua distanza da noi, ebbe luogo otto anni dopo, il 5 giugno 1769. Il prossimo passaggio, atteso con giusta impazienza dagli astronomi, avverrà l'8 dicembre 1874; ed il susseguente nel giorno 6 dicembre 1882.

Per massa, e per volume, e quindi press'a poco ancora in densità, Venere è quasi eguale alla Terra. Ne segue altresì che la gravità, alla superficie di Venere, è poco inferiore alla gravità terrestre; si calcola che quella sia nove decimi della nostra. Anche l'atmosfera di Venere sembra poco diversa, per estensione e densità, dalla nostra. Tuttavolta se Venere ha degli abitanti, le condizioni della loro vita saranno non poco diverse dalle nostre, non solo a cagione della gran quantità di calore mandatovi dal sole, doppia incirca di quella cui egli

manda a noi, ma altresì per le montagne altissime che vi sono, e per la grande obliquità dell'equatore al piano dell' orbita; onde deriva una grandissima varietà di stagioni.

Fu primo Galileo a scoprire, col suo telescopio, che Venere ci presenta, nelle sue varie posizioni, delle fasi simili a quelle della luna. Volendo prender tempo a confermare la sua scoperta, ma evitar il pericolo di esser prevenuto nel pubblicarla, compose questo bel verso latino:

Cynthiam imitatur formosi mater amoris,

(Bella madre d'Amor, Cinzia tu imiti);

e ne mandò le lettere trasposte ad un amico.

È stata agitata per lungo tempo la quistione se Venere abbia un satellite come la terra. Certo è che molti astronomi, muniti dei migliori istrumenti, non han potuto vederlo. Pure se il satellite esistesse, e la sua potenza riflessiva fosse eguale a quella degli altri pianeti, colla grandezza e distanza che gli si attribuiscono, ei dovrebbe risplendere più di una ordinaria stella di prima grandezza. Non è però una supposizione irragionevole, che

la superficie possa essere di color variabile, od anche nera, ma con una porzione meno fosca del rimanente, e che a tale circostanza sia dovuta la somma difficoltà di vederlo.

Ad ogni modo il reale o preteso satellite fu veduto dapprima da Fontana a Napoli nel 1645; poi dal celebre Cassini nel 1672, e nel 1686. Nel descrivere la sua seconda osservazione, il Cassini nota che il diametro apparente del satellite era una quarta parte di quello di Venere; onde la di lui grandezza assoluta sarebbe incirca eguale a quella della nostra luna. La fase del satellite era pure simile a quella del pianeta primario, quale realmente dovrebbe apparire agli occhi nostri,

L' Inglese astronomo Short lo vide nel 1740, con tre telescopii di diverso ingrandimento. Anche a lui il satellite parve simile al pianeta principale, ma più piccolo, e molto pallido; come era parso a Cassini. Montaigne pure, Roedkier, ed altri, lo rividero, e sempre con moto progressivo, ma di chiaror debolissimo, e che infine diventava insensibile; ed essi accertaronsi, o credettero accertarsi, che il fenomeno non poteva essere un' illusione. Ciò non pertanto, Hell, che era astronomo dell' osservatorio di Vienna verso la fine del secolo passato, attribuì il creduto satellite ad una pretta illusione ottica. Credette che l'imagine di Venere si riflettesse dalla membrana esterna dell' occhio dell' Astronomo verso il vetro oculare del telescopio, e che la stessa imagine riflettuta di nuovo dalla superficie dell' oculare verso la pupilla dell'occhio, entrasse nell'occhio, ed ivi fosse presa pel satellite di Venere. La spiegazione è inverosimile, ma non assurda. Ognuno può facilmente scorgere l'impicciolita imagine di una finestra nel giorno, o di una lucerna accesa, di sera, riflettuta dai nostri proprii occhi verso uno specchio, e dallo specchio rimandata agli occhi.

Non è punto probabile però che il grande Cassini e gli altri astronomi da me nominati commettessero un così grossolano errore d' osservazione. Non si sarebbero essi accorti dell' illusione dal movimento apparente del preteso satellite, pel lento e regolar moto del pianeta principale, e pei moti irregolari della persona e degli occhi? Come potevasi conservare sempre il medesimo rapporto fra l' imagine diretta del pianeta, e l' imagine doppiamente riflessa, usando di lenti diverse? Per qual motivo l' illusione ottica avrebbe dovuto far comparire, nelle successive osservazioni, che l' imagine riflessa avesse quello stesso moto progressivo, il quale deve appartenere ad un reale satellite aggirantesi attorno al suo primario? Come infine avrebbe Montaigne potuto vedere il satellite, tanto con Venere entro il telescopio, che senza, se il supposto satellite non era che l' imagine riflessa di Venere?

Così noi siamo ridotti a scegliere fra due grandi inverosimiglianze: o che Cassini, Short, Montaigne e gli altri siano stati vittime di una strana e pertinace illusione, o che il fosco satellite del più brillante fra i pianeti sia sfuggito a centinaia di altri osservatori. Forse, ove egli non sia una chimera, darà irrecusabile prova della sua realtà nei due prossimi passaggi di Venere sul disco solare. Infrattanto terrem in sospeso il nostro giudizio.

La Terra segue immediatamente Venere nell' ordine delle distanze dal sole: io non mi dilungherò qui a parlare della Terra come pianeta, avendone fatto il soggetto di altre lezioni speciali (Lez. XXIX; XXX; XXXVIII; XXXIX).

Quarto ed ultimo del gruppo tellurico è il pianeta Marte. Egli è più piccolo della Terra e di Venere, ma più grande di Mercurio. La sua rotazione diurna ha un periodo di 24 ore e 37 minuti. La rivoluzione siderea è

di 687 giorni nostri, meno una mezz' ora. È facile così il vedere che un anno sidereo di Marte ne vale quasi due dei nostri: ma la sua rivoluzione sinodica, per noi, è un po' più di due anni: imperciocchè dal giorno in cui Marte è per noi in congiunzione col sole sino a quello in cui Marte trovasi in opposizione, corre un anno nostro e 24 in 25 giorni: ed altrettanto dall' opposizione alla congiunzione; laonde l' intera rivoluzione sinodica di Marte, rispetto a noi, è di due anni, un mese e 19 giorni.

L' epoca più favorevole per osservar Marte è quella della sua opposizione col sole, trovandosi egli allora alla sua minor distanza da noi, e rimanendo sull' orizzonte per tutta la notte. Egli è allora per noi un bellissimo astro rosseggiante, il più risplendente di tutti, dopo il sole, la luna, e Venere, vincendo ben anche lo stesso Giove: imperciocchè la visibilità di Marte, in quella posizione, guadagna più per la piccola distanza dal sole e da noi, in confronto delle distanze di Giove, di quello che vantaggisi Giove per la sua superficie, 428 volte maggiore di quella di Marte. Vicino alla sua congiunzione col sole, Marte, quantunque distante da noi cinque volte più che quando egli era dalla nostra parte, e perciò 25 volte meno splendido agli occhi nostri, può nondimeno gareggiare ancora con una mediocre stella di prima grandezza.

L' inclinazione dell' equatore di Marte al piano della sua orbita è di poco maggiore dell' inclinazione della nostra ecclittica; onde i rapporti delle quattro stagioni in Marte non sono molto diversi da quelli delle quattro stagioni della terra: ma quelle di Marte sono lunghe quasi il doppio delle nostre, essendo pure l' intero anno di Marte, quasi doppio dell' anno terrestre. Marte ha di certo la sua atmosfera, ed essa va soggetta a delle vi-

cende meteorologiche in parte simili alle nostre. La più notabile somiglianza sta in questo, che avendo i suoi due poli il loro rispettivo estate ed inverno come i nostri, ed esistendo attorno ad ambedue i poli uno spazio più o mèno esteso occupato dalla neve, o coperto da candide nubi, pur come nella nostra terra, la calotta bianca di ciaschedun polo estendesi viepiù durante il suo inverno, il quale dura, come già sappiamo, pressochè un anno de' nostri: e la nevosa area restringesi poi nel susseguente estate, lungo parimenti quasi un altro anno terrestre.

I numerosissimi indizii, datici dall' analisi spettrale della luce degli astri, e dall' analisi docimastica degli aeroliti, ci conducono a dover tenere per fermo che le leggi della Fisica e della Chimica sono identiche per tutta l' estensione del nostro Cosmos: e quindi è del tutto consentaneo a ragione che il passaggio dell' acqua dallo stato liquido al solido, e viceversa, avvenga nel pianeta Marte, come presso di noi, alla temperatura che corrisponde allo zero del nostro termometro. La notabilissima circostanza adunque delle due zone bianche di Marte, di estensione variabile, ma sempre inferiore di molto alla metà della superficie totale del pianeta, ci obbligano a pensare che la temperatura media dell' aria, alla superficie di Marte, sia superiore a zero.

Ma d' altra parte è certo che il calore mandato dal sole al pianeta Marte, paragonato a quello cui riceve la terra nostra dal sole, non basterebbe a mantenere la temperatura media di Marte al di sopra del punto di fusione della neve: e questo dimostrerò più chiaramente in altra lezione. Io intanto son costretto a ritenere che il necessario supplemento di temperatura venga alla superficie di Marte dal calorico centrale proprio del pianeta, come in minori proporzioni avviene tuttora nella nostra terra,

ed avvenne in proporzioni più importanti nelle primitive età geologiche. Le stagioni possono avere un' influenza anche sulle contribuzioni del calorico sotterraneo, medianti le maree plutoniche, le quali saranno più o meno forti, secondo che il sole agisce più direttamente sopra l'uno o l'altro emisfero (Lezioni 49, 50, 52).

LEZIONE LVIII

Le asteroidi, o planetoidi

La precedente lezione fu dedicata al gruppo dei quattro pianeti tellurici. Tratteremo in questa del seguente gruppo, assai più numeroso degli altri due, benchè meno conosciuto, e meno interessante per noi.

Le due principali caratteristiche di questo gruppo consistono nell' esser composto di uno sciame di piccolissimi pianeti, cioè molto più piccoli ancora in paragone de' quattro pianeti tellurici, che non sono questi in paragone de' quattro pianeti maggiori, e nell' essere intermedio di posizione fra gli altri due gruppi.

Il primo nell' ordine cronologico della scoperta, ed ancora uno dei più grandi fra i pianeti componenti questo gruppo, fu scoperto a Palermo, nel primo giorno del presente secolo, 1 Gennaio 1801, da Piazzi, il quale diedegli il troppo lungo nome di Cerere Ferdinandea. Fortunatamente, lasciata indietro la brutta appendice, è rimasto il solo e bel nome di Cerere, allusivo alla fertilità dell' isola di Sicilia. Tre altri ne furono scoperti nei

primi anni del nostro secolo, cioè Pallade nel 1802, Giunone nel 1804, e Vesta nel 1807. Passarono più di 38 anni senza che se ne scoprisse alcun altro. L'8 Decembre 1845 è memorabile per la scoperta di una quinta planetoide, la quale ricevette il nome di Astrea, doppiamente bello, perchè tende ad onorare la più fondamentale di tutte le virtù, che è la Giustizia, e al medesimo tempo allude al nome della nostra scienza, l'Astronomia. D'allora in poi le scoperte di questi piccoli astri sonosi moltiplicate in ragione di quattro o cinque ogni anno. Sino al 1870 se ne conoscevano 112. Mentre scrivo, Novembbre 1872, il numero ne è già salito a 127. Il mese di Settembre è quello nel quale si è scoperto il maggior numero di pianeti. Dal 1801 sino a tutto il 1872 se ne sono scoperti in Settembre, non meno di 28, compreso il gran pianeta Nettun ; più che il triplo del numero di pianeti scoperti negli altri undici mesi dell'anno; essendo la media degli altri mesi nove pianeti soltanto. È questo un fatto curioso, ma probabilmente non casuale, e devesi forse alla circostanza che in quel mese le notti sono più lunghe che le altre notti estive, più serene e più gradevoli che le notti delle tre altre stagioni.

Ne rimangono probabilmente a scoprirsi parecchie centinaia o migliaia ancora. È un lavoro che richiede non picciola dose di abilità e di sagacia, ma sopratutto buoni occhi, migliori istrumenti, e.... fortuna. Si tracciano sulla carta molte piccole caselle quadrate, sulle quali gli astronomi disegnano le posizioni di tutte le stelle fisse indicate nei cataloghi, secondo le loro rispettive coordinate, aggiugnendovi anche le posizioni calcolate dei pianeti già noti. Poscia si prende ad osservare il cielo con un eccellente telescopio, lungo una zona di pochi gradi di qua e di là dall'ecclittica, ove sogliono trovarsi i pianeti, e si confronta la figura formata dalle

stelle che appariscono nel campo del telescopio colla rispettiva casella desunta dai cataloghi. Se voi scorgete un punto lucido non segnato nella figura, esso non può essere che un pianeta od una stella omessa nel catalogo. Il più lento movimento medio diurno fra le planetoidi conosciute, quella di Silvia, che è la più lontana dal sole, è di 544 secondi, o più di 22″ per ora. Sottoporrete dunque il nuovo punto luminoso ad altre osservazioni una o più ore dopo; se egli si trova sensibilmente spostato, correte senza indugio al più vicino uffizio telegrafico, ed annunziate al mondo scientifico e profano che avete scoperto un nuovo pianeta; tranne il caso meno probabile, e non difficile a sceverarsi subito, ch' egli fosse una cometa. Non c' è da perder tempo, se amate di non esser prevenuto nell' onore della scoperta; perchè può ripetersi il fatto, avvenuto altre volte; che un altro astronomo abbia trovato quell' identico astro nella stessa notte. Il cangiamento di ascension retta verificatosi anche in poche ore, fornisce già un dato sufficiente per un primo calcolo approssimativo della distanza del nuovo pianeta dal sole; conciossiachè il cubo della distanza media è inversamente proporzionale al quadrato del movimento medio.

È stato sempre un imbarazzo per gli astronomi il trovar un nome comune per questa turba celeste, interposta fra Marte e Giove, come ha incominciato ad essere una perplessità non lieve il coniare dei nomi proprii pei singoli pianeti che si vengono scoprendo quasi di giorno in giorno. Il nome comune più acconcio sarebbe quello di pianetini; ma sembrando poco nobile questa forma diminutiva di nome, se ne preferiscono due altri più sonori, benchè meno proprii: *planetoidi*, ed *asteroidi:* io adotterò quello di planetoidi. Pei nomi proprii il miglior sistema possibile, a parer mio, sarebbe

analogo a quello che io ho proposto per la nomenclatura chimica; cioè di assegnare, anche per l'indicazione di questa categoria di corpi, una significazione costante e separata a ciascuna vocale ed a ciascuna consonante, in guisa che il nome esprimesse da sè l'approssimativa distanza media del pianeta, e l'approssimativa grandezza, o grado di illuminazione, quando queste particolarità siano divenute note; continuando sino ad allora a designare provvisoriamente il pianeta col numero relativo all'ordine di tempo della scoperta.

Mi riservo a fare o ripetere un'analoga proposta, benchè con poca speranza ancora di vederla accettata, per le stelle fisse, la nomenclatura delle quali ha molto maggior bisogno di una radicale riforma. Le planetoidi si indicano ora in due modi: col numero d'ordine relativo all'epoca della loro scoperta, racchiuso entro un piccolo circolo, e questo è un sistema non bellissimo invero, ma chiaro, e ragionevolmente ordinato: poi con dei nomi proprii femminili, generalmente mitologici, ad imitazione del primo, che fu quello di Cerere. I nomi proprii degli otto grandi pianeti sono omai tanto familiari anche al popolo, che non sarebbe nè utile nè possibile il cambiarli. Inoltre essi sono di gran lunga più comodi per la loro brevità, e più belli per le idee sopremamente poetiche ad essi associate, di quello che tutti senza eccezione i nomi scientifici moderni.

I nomi degli otto grandi pianeti hanno un altro importante pregio ancora; esiste una reale corrispondenza fra le idee mitiche e le nozioni scientifiche associate con ciascuno degli otto nomi. Il pianeta Mercurio ha il più veloce di tutti i movimenti celesti a noi noti, come, nella classica leggenda, Mercurio, il messaggero dell'Olimpo, aveva le più celeri ali ai piedi, ed il più pronto e versatile ingegno. Venere pianeta è veracemente il più leggiadro

di tutti gli astri, come Venere si credeva la più bella di tutte le Dee. Il pianeta Marte, col suo color rosseggiante, ci ricorda appropriatamente le stragi sanguinose, care al funesto Dio della guerra. Giove è ben realmente il maggiore dei pianeti, nella stessa guisa che quegli dal quale il pianeta deriva il nome era il più possente dei numi. Saturno è bene in realtà il più lento di tutti i pianeti noti agli antichi, ed i soli che siano generalmente visibili ad occhio nudo; così Saturno, padre di Giove e degli altri dei, era naturalmente riputato di essi più vecchio, e perciò più tardo nel muovere i passi. Il pianeta Urano, essendo più lontano di Saturno, ha un moto ancora più lento; ora nella Mitologia Urano era il padre di Saturno, dunque di lui più vecchio e più pigro. Era impossibile il continuare perfettamente questa bella analogia nella denominazione del grande pianeta scoperto da Leverrier: si fece il meglio che si potè dandogli il più gran nome mitologico che ancora rimaneva disponibile: Nettuno.

Nella nomenclatura mitica delle planetoidi, per lo contrario, regna una perfetta confusione. Non vi è la più picciola correlazione fra le idee, od ordine di idee, associate al nome antico da una parte, e dall'altra l'ordine cronologico della scoperta, il grado di lucidezza, la distanza, la grandezza, od altra specialità del pianeta. Per aiutare in qualche modo la vostra memoria, se voleste addossarvi il non facile nè piacevole cómpito di apprendere tutti quei nomi, ve li ordinerò in categorie secondo le idee mitiche e storiche associate ai nomi antichi.

I Romani, fra le divinità che erano oggetto di un comune culto per essi e pei Greci, ne distinguevano dodici, chiamate *Consentes*, e *Dii majorum gentium*, o Dei maggiori; sei maschi e sei femmine. Giove, Nettuno,

Apollo, Marte, Mercurio, Vulcano; Giunone, Vesta, Minerva, Venere, Cerere, Diana. I nomi di Giove, Nettuno, Marte, Mercurio sono associati ad altrettanti pianeti maggiori. Alcuni degli antichi poeti confondevano Febo, od Apollo, col Sole, ma non erano a ciò autorizzati dagli astronomi, i quali risguardavano bensì il sole come un pianeta, a cagione della rapidità ed irregolarità de' suoi moti apparenti, ma non commettevano già anche l'errore di supporlo più piccolo dei veri pianeti. Pochi anni or sono si era chiamato Vulcano il preteso pianeta intramercuriale del dottor L'Escarbaud, senza avvertire l'incongruenza di assegnare il nome di uno fra gli Dei maggiori ad un pianeta che sarebbe necessariamente piccolissimo. L'incongruenza inversa era già stata commessa col dare dei nomi di Dee maggiori ai piccoli pianeti telescopici: altronde però noi sappiamo quanto poco sia intesa od apprezzata la simmetria intellettuale dalla maggior parte degli scienziati contemporanei.

Tutte le sei Dee maggiori compariscono nella nomenclatura delle planetoidi, ma con undici nomi, giacchè alcune hanno due o tre nomi per ciascheduna.

Annovererò dunque tutte le planetoidi che hanno già ottenuto un nome proprio, premettendovi il numero distintivo che indica l'ordine della scoperta, qualche volta con osservazioni filologiche atte a meglio imprimere il nome nella memoria, e aggiugnendo sempre il nome dello scopritore, l'anno della scoperta, e la distanza media dal sole.

I nomi di planetoidi, allusivi alle Dee maggiori sono i seguenti:

1. Cerere, Dea dell'Agricoltura. Questa, come dissi, fu la prima planetoide scoperta, ed è perciò ch'essa porta il numero 1. Il suo periodo è di 1681 giorni. Piazzi a Palermo, 11 Gennaio 1801. Dist. 2. 767.

2. Pallade. La di lei scoperta avvenne 15 mesi dopo quella di Cerere. Pallade è la più grande fra le 125 planetoidi trovate sinora, e probabilmente lo sarà anche fra le moltissime che rimangono a scoprirsi, giacchè in settantadue anni dacchè si esplora coi più forti telescopii il cielo, i più grossi e più brillanti pianeti di quella zona, limitata in larghezza e profondità, presentaronsi facilmente all' osservazione per primi. Il suo periodo è di 1684 giorni, o quattro anni e sette mesi e mezzo. Scoperto da Olbers a Brema, 1802. Dist. 2. 770.

3. Giunone. Harding, a Gottinga, 1804. Dist. 2.669.

4. Vesta, è ad un tempo una delle più grosse e delle più vicine planetoidi, e figura assolutamente come la più brillante di tutte. Olbers, a Brema, 1807. Dist. 2.361.

46. Hestia. Questo pianeta scoperto il 16 Agosto 1857, è affatto differente da Vesta, ossia dal pianeta di Olbers, ma la parola *Hestia* non è altro che il nome greco della supposta Dea Vesta, la quale, interpretata nel senso razionalistico, è semplicemente una personificazione poetica della Terra. Pogson, a Oxford, 1857. Dist. 2.530.

78. Diana. È il nome di un' altra planetoide scoperta il 15 Marzo 1863. Gli antichi attribuivano alla supposta sorella di Apollo tre distinte personalità e tre nomi; ella era, secondo essi, Febe, o la luna, in cielo; Diana, protettrice della caccia, in terra; ed Ècate la governatrice del regno delle ombre, agl' Inferi. Luther a Bilk, Prussia Renana, 1863. Dist. 2. 622.

93. Minerva è il nome di uno o due altri piccoli pianeti, compagni dei precedenti, e scoperti da Watson; ma Minerva e Pallade non sono che due nomi latini, esprimenti un' identica idea di personaggio imaginario, cioè la supposta Dea della Sapienza, chiamata in Greco Athena. Watson, 24 Agosto 1867. Dist. 2.754 (*).

(*) Trovo nell'*Annuaire du Bureau des longitudes,* notato

100. Ecate. Questo è il nome di un altro pianeta trovato da Watson, differente affatto dal pianeta Diana, benchè Ecate non sia che il nome infernale di Diana. Watson, 1868. Dist. 3096.

103. Hera. Altro pianeta, scoperto l'8 Settembre 1868 dal medesimo e sempre linceo Watson, e del tutto diverso dal pianeta Giunone, quantunque Hera non sia che il nome greco di Giunone, la supposta moglie di Giove, e protettrice delle puerpere. Watson, 1868. Dist. 2. 704.

104. Arthemis, o **Artemisia.** Credo che con questo nome lo scopritore, sempre Watson, in analogia ai nomi di Hestia, Minerva, Ecate, ed Hera, da lui prescelti, siasi inteso di alludere di nuovo alla mitica Diana, il cui nome greco è *Arthemis*, e non alla storica regina di Caria, la quale eresse al defunto marito il celebre mausoleo. Watson, 1868. Dist. 2. 380.

106 Dionea, uno dei nomi di Venere, dalla sua madre Dione. Watson, 10 Ottobre 1868. Dist. 3. 164.

Vi sono poi non meno di diciotto planetoidi, o pianeti telescopici fra Marte e Giove, che portano dei nomi delle supposte Dee minori, o *minorum gentium.*

5. Astrea, dea della Giustizia. Questa è, come già dissi, la prima planetoide scoperta, dopo il lungo intervallo di trentotto anni i quali corsero dalla scoperta delle prime

---

in altro posto, un pianeta collo stesso nome di *Minerva*, e che sarebbe stato scoperto dallo stesso Watson, ma in tutt'altra data, 13 Settembre 1868, e con affatto diversi elementi. La distanza media sarebbe 3.180. Ignoro se questo sia un pianeta differente dal primo, od il medesimo meglio osservato.

quattro, fatta al principio del secolo. Conseguentemente essa porta il numero progressivo **5**. La scoperse Hencke, a Driessen, Prussia, 8 Decembre 1845. Dist. media 2.577400.

6. Ebe, Dea della gioventù. Hencke, 1847. Distanza 2. 425.

7. Iride, la variopinta messaggiera del cielo. Hind, a Londra, 1847. Dist. 2.386.

8. Flora, la dea dei fiori, ed in generale della vegetazione. Questa è la planetoide più vicina al sole, almeno fra quelle che oggi si conoscono. Conseguentemente essa è quella ancora che ha il più breve periodo, e questo è di 1193 giorni nostri, o tre anni e 98 giorni. Essa ha una mediocre eccentricità, di 0.1568; maggiore di quella di Marte, ma minore di quella di Mercurio, i quali sono i due dalle orbite più eccentriche fra i pianeti principali. L'inclinazione dell'orbita di Flora al piano dell'Ecclittica, è mediocre altresì, cioè di 5° 531. La longitudine del suo nodo ascendente, è 110° 20'. cioè a dire, il punto ove Flora traversa l'Ecclittica, per passare dal sud al nord dell'ecclitttca stessa, è situato 110 gradi e 20 minuti all'est del primo punto d'Ariete od equinozio di primavera. Hind, 1847. Dist. 2. 201727.

9. Metis. Dea della Prudenza e del Consiglio. Graham, a Markree in Irlanda, 1848. Dist. 2.387.

10. Igea, la dea della salute. De Gasparis, a Napoli, 1849. Dist. 3.151388.

17. Teti, la madre di Achille. Luther, a Bilk, presso Dusseldorf, nella Prussia Renana, 1852. Dist. 2.473.

19. Fortuna, la capricciosa signora delle anime volgari. Pianeta scoperto da Hind, 1852. Dist. 2.441.

24. Temide, altro nome della dea della Giustizia. De Gasparis, 1853. Dist. 3.142.

26. Proserpina, la rapita figlia di Cerere, e moglie di Plutone. Luther, 5 Maggio 1853. Dist. 2.656.

28. Bellona, la infausta Dea della Guerra. Luther, 2854. Dist. 2. 775.

29. Anfitrite, la Dea del mare, sposa a Nettono. Marth, a Londra, 1854. Dist. 2. 555.

32. Pomona, protettrice degli orti e dei frutti. Goldschmidt, a Parigi, 1854. Dist. 2. 587.

34. Circe, la lusinghiera trasformatrice degli uomini in belve. Chacornac, a Parigi, 1855. Dist. 2.686.

42. Iside, la gran Dea Egiziana, moglie di Osiride. Pogson, a Oxford, 1856. Dist. 2. 440.

49. Pale, la protettrice dei pastori. Goldschmidt, a Parigi, 1857. Dist. 3. 082.

52. Calipso, l' innamorata ospite di Ulisse, e di Telemaco. Luther, 1858. Dist. 2. 620.

72. Feronia, dea Etrusca e Romana, che presiedeva ai campi, e ne custodiva i confini. Peters e Saffort, a Clinton in America, 1862. Dist. 2. 266.

76. Freia, la Venere Scandinava. Darrest, a Copenhaguen, 21 Ottobre 1862. Dist. 3. 386.

77. Frigga, altro nome Scandinavo della stessa o di altra dea. Peters, a Clinton in America, 1862. Dist. 2.674.

111? Ate, la perversa e mendace dea, scacciata dal cielo, e venuta a turbare le menti degli uomini, e trarli alla sventura. La bella allegoria Omerica aggiugne che le Preghiere, zoppe figlie di Giove, seguono i passi di Ate, e studiansi di rimediare ai maleficii di lei. Chi benigno accoglie queste pietose Dee, acquista il favore de' Numi e de' mortali. Il pianeta Ate fu scoperto il 14 Agosto 1870, a Clinton, dall'Americano C. H. F. Peters, scopritore anche del precedente pianeta, e di molti altri, e da non confondersi coll' altro illustre Peters, l'Astronomo di Altona. Dist. 2.588.

La parte più bella, e meno imperfetta della nomen-

clatura dei planetoidi è quella che contiene i nomi delle Muse. Vi sono tutte nove; solamente i nomi non sono uniti, nè distribuiti in acconcio ordine, sia per riguardo al tempo della scoperta, sia per riguardo alla distanza dei pianeti dal sole.

18. Melpomene, musa della Tragedia. Hind, 24 Giugno 1852. Dist. 2. 296.

22. Calliope, musa del poema eroico. Hind, 16 Novembre 1852. Dist. 2. 909.

23. Talia, la sorridente musa della Commedia. Hind, 15 Dec. 1852. Dist. 2. 631.

27. Euterpe, la musa della più deliziosa di tutte le arti, di quella che prende il suo stesso nome dalle *Muse*. Hind, 8 Nov. 1853. Dist. 2. 347.

30. Urania, la musa dell'Astronomia. Hind, 22 Luglio 1854. Dist. 2. 365591.

33. Polìmnia, musa dell'eloquenza e della poesia lirica. Questo è il pianeta la di cui orbita ha la maggiore eccentricità. Chacornac, 28 Ottobre 1854. Dist. 2. 862.

62. Èrato, la musa dell'elegia e delle poesie amorose. Forster e Lesser, 14 Settembre 1860. Dist. 3. 128.

81. Terpsìcore, la musa delle danze. Tempel, 30 Settembre 1864. Dist. 2. 853.

84. Clio. Fu nominata per ultima quella che avrebbe meritato il primo luogo, la severa musa della Storia. Sarebbero stati scusabili gli astronomi, se avessero almeno dato il posto d'onore alla loro propria scienza, Urania, o l'Astronomia. Ma non si son ricordati di nominarla che nel quinto luogo, dopo la tragedia, l'epopea, la comedia, e la musica. Il pianeta Clio fu scoperto da Luther, il 25 Agosto 1865. Dist. 2. 362.

57. Mnemòsine. Prima ancora che fossero esauriti i nomi delle vergini muse, Luther rammentossi della loro madre, dea della *memoria*, Mnemòsine, e ne diede

il nome al pianeta da lui scoperto il 22 Settembre 1859. Dist. 3. 157.

Continuerò la classificazione dei nomi proprii delle planetoidi scoperte sino al Settembre 1872. I nomi delle nove muse dovevano suggerir quelli delle tre Grazie. Pure non ve ne sono che due.

31. Eufròsine. Fergusson, a Washington, 1854. Dist. 3. 151. Questa, come diremo anche più avanti, è quella che allontanasi più di tutte dal sole nel di lei afelio.

47, Aglaia. Luther, 1857, Dist. 2. 883.

Manca la terza grazia, Pasitea.

Sono tre le planetoidi che prendono i nomi delle Ore, o stagioni; sia tre, quattro, cinque, dieci, o dodici, il numero delle mitiche ore, secondo i varii computi; poichè domina su questo, anche più del solito degli altri soggetti analoghi, una strana confusione e divergenza presso gli antichi poeti che ne parlarono, ed i moderni filologi che han preteso di interpretarli.

14. Irene, dea dell'estate. Hind, 1851. Dist. 2, 585.

15. Eunomia, dea dell'inverno, secóndo alcuni; della legge secondo altri. Differenza enorme per un filologo, ma che poco o nulla importa ad un semplice astronomo, al quale basta aver un nome convenzionale qualunque per individuare un pianeta, e non confonderlo con altri pianeti o stelle. Tale invero era lo scopo essenziale, ed è appieno ottenuto anche da questa disordinata nomenclatura: ma sarebbe meglio ancora se ci fosse un po' più d' ordine o di sistema. Lo scopritore di Eunomia fu De Gasparis, il 29 Luglio 1851. Dist. 2. 267.

99. Dike, altra delle Ore, che presiedeva secondo i filologi ai tribunali ed ai giudizii. Borelly, 28 Maggio 1868. Dist. 2, 884.

Una delle più belle ed ingegnose allegorie nelle quali identificavansi la poesia e la religione dell' antica Grecia rappresenta l' inevitabile ciclo dell'esistenza umana, la nascita, la vita, e la morte, colle tre Parche. Cloto avvolgeva il pennecchio alla fatale connocchia; Làchesi girava il fuso, e traeva il filo. Al momento predestinato, le inesorabili cesoie di Àtropo lo troncavano. Figlie dell' Èrebo e della Notte, sorelle alle Eumènidi, le tre Parche, l' ultima specialmente, non potrebbero acconciamente brillare in cielo, secondo le idee religiose ora dominanti. Ma presso gli antichi, l' inferno non era esclusivamente un luogo d' orrore e di supplizio: accantò al Tàrtaro, ove erano puniti i malvagi, stendevansi i campi Elisii, soggiorno felice delle anime virtuose. Io non sono alieno dal credere, che Omero e gli altri uomini di genio i quali fondarono o perfezionarono la religione del popolo più ingegnoso che mai sia stato, conoscessero per via di fatto o di raziocinio la possibile esistenza degli antipodi, e che li chiamassero gl' *inferi* solamente perchè essi stanno sotto i nostri piedi, come, nel concetto dei nostri antipodi, sotto i loro piedi stiam noi. Io poi spero che le future generazioni avranno del cielo un' idea ad un tempo più bella e più vera di quella cui oggi ne ha il popolo. È infatti probabilissimo che, se non le planetoidi troppo piccole, altri pianeti innumerevoli, più grandi, e meglio situati rispetto ai loro soli, siano abitati come la nostra terra. È possibile che gli abitanti di alcuni fra quei remoti pianeti sieno anche più cattivi e più infelici di quello che in genere siamo noi: altri mondi saranno facilmente più onesti e più fortunati: ma dappertutto, benchè in diverse proporzioni, esisterà l'inevitabile mescolanza della virtù e della colpa, della gioia e del dolore, della luce e delle tenebre, della vita e della morte.

Non è dunque un' incongruenza assurda l' accoppiare nella nomenclatura dei corpi celesti Cerere ed Ecate, Igea e Circe, Prosèrpina ed Anfitrite, le Grazie e le Parche. Ciò che avvi d' incongruo è il saccheggiare la splendida mitologia dell' Èllade, e scindere la bella unità ideale di ciascun mito, col porne solo una parte, o collo sparpagliarne in tutte le direzioni le individualità.

97. Cloto. Tempel, 1868. Dist. 2. 669.

Così gli astronomi han messo in cielo la più giovane delle Parche. Vi mancano ancora le altre due. Ma noi abbiamo intanto tredici ninfe. Un breve passo del decimonono canto dell' Iliade ne ha fornite non meno di cinque, e potrebbe suggerirne delle altre ancora.

« ..... *Quindi* **Melìte**, *e seco*
Callïanira e **Dori**, *e* **Panopèa**.
E sovra tutte **Galatea** *famosa;*
.... *alfine*
L' alma **Climène**, *e Mera ed Orità,*
Ed Amatèa dall' auree treccie, ed altre
Nerëidi dell' onda abitatrici. »

Ecco i tredici nomi di ninfe:

13. Egeria, la saggia ed amorosa consigliera di Numa, nella leggenda o storia Romana. De Gasparis, 1850. Dist. 2. 576860; quasi eguale alla distanza media di Astrea.

41. Dafne. Goldschmidt, 1856. Dist. 2. 7674.

48. Dori. Goldschmidt, 1857. Dist. 3. 109.

56. Melìta, o **Melete**. Goldschmidt, 1857. Dist. 2. 598.

61. Eco. Fergusson, 1860. Dist. 2. 394.

70. Panopèa. Goldschmidt, 5 Maggio 1861. Dist. 2. 613.

73. Clizia, innamorata dell' astro del giorno, e

convertita nel girasole che a lui si volge. Tuttle, 1862. Dist. 2. 665.

74. Galatea. Tempel, 1862. Dist. 2. 779.

79. Eurìnome, altra Nereide omerica,

« *Del rilucente Oceano abitatrice.* »

Questo pianeta fu scoperto da Watson ad Ann Harbour in America, il 14 Settembre 1863. Dist. 2. 443.

85. Io. Peters, 1865, Dist. 2. 654.

92. Undina, la Nàiade della mitologia settentrionale. Peters, 1867. Dist. 3. 192.

95. Aretusa, fanciulla di Èlide, convertita in fonte di acqua dolce, che sorgeva di mezzo alle salse onde del mare presso Siracusa. La leggenda è doppiamente favolosa; cioè non solo nella forma, come gli altri miti dai quali è presa la maggior parte dei nomi di questi pianeti, ma ancora falsa nella sostanza: imperciocchè la leggenda di Aretusa pretende insinuare l'assurda ipotesi che le acque del fiume Alfeo, in Grecia, passassero sotto il letto del mare Mediterraneo, e, dopo un corso di quattrocento miglia, sgorgassero all'aperto sulle coste della Sicilia. Checchè ne sia intorno alla maggiore o minor falsità della leggenda di Aretusa, della quale l'Astronomia non ha punto a curarsi, il pianeta Aretusa fu scoperto da Luther, che ne ha trovati tanti altri ancora, il 23 Novembre 1867. Dist. 3. 069.

96. Egle, la bellissima Nàiade dei bellissimi versi Virgiliani:

« *Addit se sociam, timidisque supervenit Aegle;*
Aegle Naïadum pulcherrima: iamque videnti
Sanguineis frontem moris, et tempora tingit. »

Il pianeta Egle fu scoperto da Coggia il 17 Febbraio 1868. Dist. 3. 054.

105. Climène. Watson, 13 Settembre 1868. Dist. 3. 151162. Distanza quasi precisamente eguale a quella di Igea.

Si aggiungono venti altri nomi appartenenti a donne pur favolose, come sono favolose le dee o ninfe sinora nominate, ma egualmente circondate dall' immortale aureola della Poesia e dell' Arte.

16. Psiche. De Gasparis, 1852. Dist. 2. 921.

35. Leucòtoe. Luther. 19 Aprile 1855. Dist. 2. 997.

36. Atalanta. Goldschmidt, 1855. Dist. 2. 745.

38. Leda. Chacornac, 1856. Dist. 2. 740.

43. Arianna. Pogson, 1857. Dist. 2. 202880. È quasi esattamente la stessa distanza media di Flora.

55. Pandora. Searle ad Albany, 1858. Dist. 2.759.

60. Danae. Goldschmidt, 1860. Dist. 2. 983.

66. Maia. Tuttle a Càmbridge presso Bòston in America, 1861. Dist. 2. 651.

71. Niobe. Luther, 1861. Dist. 2. 756.

75. Euridice. Peters, 22 Settembre 1862. Dist. 2. 670.

82. Alcmena. Luther, 1864. Dist. 2. 755.

83. Beatrice. De Gasparis, 1865. Dist. 2. 4316.

86. Semele. Tietjen, 1866. Dist. 3. 112.

88. Tisbe. Peters, 1866. Dist. 2. 767038.

90. Antiope. Luther, 1866. Dist. 3. 137.

101. Èlena. Watson, 1868. Dist. 2. 583.

107. Camilla. Gli elementi non sono ancora noti.

108. Écuba. Luther, 1869. Dist. 3. 224.

112. Ifigenìa. Peters, 19 Settembre 1870. Dist. 2. 4318.

114. Cassandra. Peters, 1871. Dist. 2. 660.

Non paghi di servirsi dei nomi di donne favolose, i moderni Astronomi han voluto dare ad un piccolissimo pianeta telescopico anche il nome di una capra, come

gli astronomi antichi l'avevano dato ad una bellissima stella di prima grandezza.

113. Amaltea, la capra nutrice di Giove, sul monte Ida. Luther 1871. Dist. 2. 376.

Prima di esser ridotti ad un così povero espediente, essi erano già ricorsi, benchè troppo parcamente, e con poco sagace scelta, al molto più ragionevole e nobile sistema di dare ad otto di questi piccoli pianeti, dei nomi di donne storiche, od almeno semistoriche.

39. Letizia, madre di Napoleone. Chacornac, a Parigi, 8 Febbraio 1856. Dist. 2. 771.

50. Virginia, la romana fanciulla, immolata dal padre sull'altare della Pudicizia e della Patria. Luther, 1857. Dist. 2. 651.

59. Olimpia, madre di Alessandro. Chacornac, 1860, Dist. 2. 713.

80. Saffo, l'amorosa ed infelice poetessa. Pogson, 1864. Dist. 2. 296.

87. Silvia, madre di Romolo. Questa è la planetoide più lontana dal sole fra le 125 conosciute o calcolate sino a tutt'oggi 31 Ottobre 1872. Fu scoperta da Pogson il 16 Maggio 1866. La sua distanza media è 3. 494109.

102. Miriam, nome ebraico ed inglese di Maria sorella di Mosè. Peters, 1868. Dist. 2. 662.

110. Lidia. Forse l'amante di Orazio? Borelly, 19 Aprile 1870. Dist. 2. 691.

111? Ada.

Forse l'unica e diletta figlia di Byron,

« *Ada sole daughter of my falling house?* »

I nomi suggeriti dall'adulazione sono in numero fortunatamente piccolo, poichè riduconsi forse a due soli.

12. Victoria, nome della regina d' Inghilterra. Hind, 1850. Dist. 2. 333.

45. Eugenia, nome dell' ex-imperatrice dei Francesi. Goldschmidt 1857. Dist. 2. 721.

Copernico, Cartesio e Galileo non avevano la probabilità, molto meno il bisogno, di esser fatti cavalieri. Il signor Goldschmidt era molto più sicuro di conseguir il nastro della Legion d' onore, per avere scoperto e nominato il *pianetino* Eugenia.

Sono stati meglio ispirati gli astronomi onorando i nomi di virtù, o di deità allegoriche, corrispondenti a cose reali ed ottime.

37. Fides, cioè la fedeltà al dovere ed alla promessa; *Fundamentum Iustitiae est Fides*, dice Tullio. Il pianeta fu scoperto da Luther, 1855. Dist. 2. 642.

40. Harmonia. Goldschmidt 1856. Dist. 2. 268.

58. Concordia. Luther, 1860. Dist. 2. 700.

94. Aurora. Watson, 1867. Dist. 3. 160.

109. Felicità. Peters, 1869. Dist. 2. 696.

Nè male vi stanno cinque nomi latini indicanti la ideale personificazione delle città ove il pianeta fu rispettivamente scoperto.

11. Parthenope, nome poetico di Napoli. De Gasparis a Napoli, 1850. Dist. 2. 452.

20. Massalia, nome latino di Marsiglia. De Gasparis, 19 Settembre 1852. Dist. 2. 409. De Gasparis, primo scopritore di questo pianeta, desiderava di imporgli un altro nome, ma lo stesso astro da lui osservato a Napoli nella notte del 19 Settembre 1852, fu visto da Chacornac a Marsiglia, il 20 Settembre, senza conoscere l' osservazione fatta a Napoli. Chacornac e Marsiglia vinsero la lite del nome.

Il piano dell'orbita di Massalia coincide quasi coll' Ecclittica. Inclinazione 0° 41'.

21. Lutetia, nome latino di Parigi. Goldschmidt, a Parigi, 1852. Dist. 2. 435.

25. Phocaea, altro nome allusivo a Marsiglia, antica colonia della greca città di Focèa nell' Asia minore. Chacornac a Marsiglia, 6 Aprile 1853. Dist. 2. 401.

51. Nemausa, nome latino di Nîmes. Laurent, a Nîmes, 1858. Dist. 2.366448. Questa è quasi esattamente anche la distanza media di Urania.

Analoghi ai cinque nomi di città sono cinque nomi di regioni: scelti però al solito colla più spensierata mancanza di regola e di proporzione.

44. Nisa, reale od immaginaria isola, ove si pretende che nascesse Bacco. Goldschmidt, 1858. Dist. 2. 423.

52. Europa. Goldschmidt a Parigi, 1858. Distanza media 3. 100.

63. Ausonia, uno dei nomi dell' Italia. De Gasparis, 10 Febbraio 1861. Dist. 2. 397.

67. Asia. Pogson, a Madras in Asia 1861. Distanza 2. 422.

49. Hesperia, altro nome dell' Italia, dovuto alla sua posizione occidentale rispetto alla Grecia. Schiapparelli, a Milano, 29 Aprile 1861. Dist. 2.980.

91. Egina, nome di una greca isoletta, patria di Platone. Borelly, 1866. Dist. 2. 558.

Farò un' ultima categoria di otto altri nomi, il di cui significato ed allusione è a me ignoto, e probabilmente a molti altri ancora. Non è però inverosimile il supposto che con alcuni di questi nomi gli astronomi scopritori abbiano voluto onorare le donne da essi rispettivamente amate.

54. Alessandra. Goldschmidt. 1858. Dist. 2. 709.

64. Angelina. Tempel, a Marsiglia, 1861. Distanza 2. 681.

65. Massimiliana. Tempel, 1861. Dist. 3. 420. Questa è la planetoide più distante di tutte, dopo Silvia.

68. Leto. Luther. 1861. Dist. 2. 780.

89. Giulia. Stéphan, 1866. Dist. 2. 550.

98. Ianthe. Peters, 1868. Dist. 2. 685.

116. Sirona. (**Sirena?**) Peters, 8 Sett. 1871.

117. Lomia. Borelly, a Marsiglia, 12 Settembre 1871. Dist. 2. 787.

Il presente anno 1872, è piuttosto uno di quelli dalla più larga messe di pianeti; poichè se ne sono a quest' ora scoperti dieci, dei quali uno solo ha ricevuto il nome, cioè:

118. Peitho. Luther, Bilk Düsseldorf, 15 Marzo 1872. Gli elementi di questo, e degli altri pianeti scoperti in quest' anno, non sono ancora stati determinati.

119. Watson, Ann Harbour, America, 3 Aprile 1872.

120. Borelly, Marsiglia, 10 Aprile 1872.

121. Watson, Ann Harbour, 12 Maggio 1872.

122. Peters, Clinton, America, 30 Luglio 1872.

123. Peters, nello stesso luogo e nella stessa notte.

124. Peters, a Clinton, 23 Agosto 1872.

125. Prospero Henry, Parigi, 11 Settembre 1872.

126. Paolo Henry, Parigi 5 Novembre 1872.

127. Prospero Henry id.

Questi due ultimi pianeti, trovati congiuntamente dai due fratelli Henry, presentarono la singolare circostanza di mostrarsi contemporaneamente nel campo del cannocchiale, essendo alla piccolissima distanza apparente di soli cinque minuti, od un sesto del diametro apparente della luna. Si potè sospettare per un momento una vici-

nanza meglio che apparente o casuale, ma che essa fosse analoga al fatto delle stelle doppie, od anche proveniente da una recente esplosione di un piccolo pianeta, il quale ne avesse così prodotti due altri più piccoli. Alcuni suppongono esser ciò avvenuto più in grande molti secoli sono, val a dire che esistesse un solo pianeta, di mediocre grandezza, per esempio di una massa eguale ad un quarto della massa terrestre, e nella situazione corrispondente alla legge di Bode, ossia alla distanza media 2.8; e che un' esplosione lo sbrancasse in molti pezzi, divenuti questa caterva di pianetini fra Marte e Giove, ed allontanati poi viepiù gli uni dagli altri per la varia resistenza dell' etere. La supposizione di un siffatto modo di generazione delle planetoidi in generale, è tutt' altro che assurda, benchè non ne sia provata la realtà: ma in quanto a queste due ultime planetoidi, le 126, e 127, il loro movimento orario notabilmente diverso ha ben tosto palesato la loro reciproca indipendenza.

Ognuno che abbia prestato qualche attenzione a questa lunga rassegna di nomi, tanto di pianeti che di astronomi scopritori, potrà essersi accorto che alcuni di questi ultimi vi figurano più di frequente che gli altri. Il più abile o più fortunato di tutti è stato il Tedesco Luther, il quale ne ha scoperto non meno di diciannove. Subito dopo di esso l'Americano Peters che ne ha trovato quindici, ed il Francese Goldschmidt, quattordici.

Fra le planetoidi sinora scoperte, limitandomi alle sole 124, dei di cui scopritori conosco i nomi, i numeri rispettivi sono incirca come segue:

Luther (Tedesco) . .	19	Watson (Americano) .	12
C. H. F. Peters (Amer.)	15	Hind (Inglese) . . .	10
Goldschmidt (Francese)	14	De Gasparis (Italiano).	9

Chacornac (Francese)	6	Schiaparelli (Ital.)	1
Pogson (Inglese)	6	Coggia (Ital.)	1
Tempel (Francese?)	5	Graham (Ingl.)	1
Borelly (Franc.)	5	Darrest (Danese)	1
Olbers (Ted.)	2	Forster e Lesser (Amer.)	1
Hencke (Ted.)	2	Laurent (Franc.)	1
Fergusson (Amer.)	2	Marth (Ingl.)	1
Tuttle (Amer.)	2	Stéphan (Amer.)	1
Próspero Henry (Franc.)	2	Searle (Amer.)	1
Piazzi (Ital.)	1	Tietjen (?)	1
Harding (Ted.)	1	Paolo Henry	1

In quanto al numero di planetoidi scoperte ne' varii paesi, esso è prossimamente come segue:

Francia	36	Italia	11
America settentrionale	34	Asia	4
Germania	24	Irlanda	1
Inghilterra	13	Danimarca	1

Lo specchietto precedente basta per far comprendere come il numero de' piccoli pianeti scoperti ne' varii luoghi, dipenda ad un tempo e dall' ordinaria serenità delle notti, e dal maggiore o minor progresso scientifico.

Il maggior numero di piccoli pianeti è stato scoperto nei quattro mesi temperati; un minor numero nei quattro mesi caldi; probabilmente a cagione delle brevi notti, e del lungo crepuscolo; il minor numero di tutti nei quattro mesi freddi, tra per lo stato ordinariamente nuvoloso del cielo, e per la rigidezza della temperatura. Fra 126 pianeti, il numero degli scoperti in ciascun mese è stato come segue.

Settembre	29	Novembre	10
Aprile	20	Luglio	8
Agosto	12	Febbraio	6
Marzo	11	Gennaio	4
Maggio	11	Giugno	3
Ottobre	10	Decembre	2

Giova il notare altresì, che la maggior parte delle planetoidi sono state scoperte allorchè esse erano poco lungi dalla loro opposizione col sole. Ed è naturale che ciò sia avvenuto, e che sia per avvenire altresì rispetto alla maggior parte di quelle che ancor rimangono a scoprirsi. Imperocchè quando un astro qualunqne, pianeta o stella, è in opposizione col sole, egli é visibile in cielo durante la maggior parte della notte. Un pianeta poi in opposizione col sole è alla sua minor distanza dalla terra, come per lo contrario egli è alla sua maggior distanza da noi allorchè trovasi in opposizione col sole, essendo la differenza delle due distanze eguale al diametro dell' orbita terrestre. Così essendo la distanza media delle planetoidi dal sole 2.8 incirca, la loro minor distanza da noi sarà incirca 1.8; la maggior distanza 3.8; cioè a un di presso doppia della distanza precedente. E poichè lo splendore apparente di un astro è in ragione inversa del quadrato della distanza, le planetoidi quando sono in opposizione col sole, ossia dalla nostra parte, risplendono incirca quattro volte di più, che quando elleno sono in congiunzione, o al di là del sole. Così se, per esempio, una planetoide, vicina al punto della sua opposizione col sole, ci apparisce come una stella di decima grandezza, non ci apparirebbe che di dodicesima grandezza allorchè essa trovasi iu congiunzione.

A questa circostanza avran riguardo senza dubbio gli abili cercatori di nuovi pianeti, ed essi preferiranno

di puntare il loro telescopio verso quella parte dello zodiaco la quale abbia da dieci a quattordici ore di ascension retta più del sole.

Si conosce pochissimo intorno alla grandezza individuale di ciascuna delle planetoidi; sappiam solo in generale che sono tutte piccolissime. Le maggiori sono le quattro che prime furono scoperte, Cerere, Pallade, Giunone, e Vesta; ed è ben chiaro che la loro grandezza relativa contribuì a farle scoprire prima delle loro compagne. La maggiore per volume è Pallade, poi Giunone, indi Vesta, ed infine Cerere. Il diametro di Pallade è stato stimato 246 leghe da quattro chilometri l'una, o quasi mille chilometri; un tredicesimo circa del diametro della terra, ed un duemillesimo del volume di essa. Secondo Argelander il diametro di Cerere sarebbe 90 leghe da quattro chilometri il grado, ossia 360 chilometri; così Cerere avrebbe un volume eguale ad un ventesimo circa del volume di Pallade, ed una quarantamillesima parte del volume della terra. Herschell ne aveva stimato il diametro reale a 65 leghe soltanto, e Schroeter 185: tanto è difficile a misurare il diametro anche apparente, da cui dipende la stima del diametro reale, di così piccioli e lontani corpi!

La visibilità però di questi quattro pianeti non è nella stessa proporzione delle loro rispettive grandezze. La più brillante di tutto il gruppo di planetoidi è Vesta, al punto che dicesi potere un'acutissima vista, in un cielo ben puro, discernerla anche ad occhio nudo, come stella di settima grandezza. Giunone e Cerere splendono come stelle di ottava grandezza; Pallade ha uno splendore intermedio fra la settima e l'ottava grandezza. Le ultime due, scoperte a Parigi dai fratelli Henry, sembrano stelline fra l'undecima e la dodicesima grandezza.

Molto meglio che le grandezze, si conoscono le di-

stanze delle planetoidi per mezzo delle loro velocità, e della terza legge di Keplero. Facendo una somma delle distanze medie di tutte le planetoidi delle cui orbite si conoscono gli elementi, e dividendo quella somma pel numero di planetoidi, si trova che la media delle medie corrisponde abbastanza bene alla legge di Bode, della quale tratterò in altra lezione; cioè che la media distanza generale delle planetoidi dal sole, è eguale prossimamente a 2.8, ossia due volte ed otto decimi la distanza della terra dal sole.

Di tutte le planetoidi conosciute, quella che ha la minor distanza media dal sole, è Flora, l'ottava nell'ordine di tempo della scoperta. Questa distanza media è assai prossimamente 2.2. Di pochissimo maggiore è la distanza della sua più vicina compagna, Arianna. Le due planetoidi più lontane sono Massimiliana, e Silvia: la distanza media della prima è 3.42; quella della seconda 3.49. Cerere e Pallade si discostano poco dalla giusta distanza media di 2.8; Vesta è una delle più vicine, essendone la distanza media soltanto 2.36; ed a questa circostanza, senza dubbio, è dovuto in parte il di lei maggioreggiare sullo splendore di tutte le compagne.

Le eccentricità delle orbite delle planetoidi sono in generale molto più pronunciate di quelle dei pianeti. Le due maggiori eccentricità sono quella di Polimnia, 0.34, e quella di Atalanta, 0.30,. L'una e l'altra di queste due eccentricità supera considerevolmente l'eccentricità dell'orbita di Mercurio, la quale è 0.2056, e tanto più poi l'eccentricità delle orbite degli altri grandi pianeti. Nondimeno una figura ben disegnata dell'orbita di Polimnia non diversifica molto da un circolo, e presenta uno schiacciamento minore dello schiacciamento, non dell'orbita, ma del globo di Giove, che è un diciassettesimo; e del globo di Saturno, il cui schiacciamento è

molto più grande ancora, cioè quasi un nono; mentre l'asse maggiore dell'orbita di Polimnia supera l'asse minore nel rapporto solamente di 100:94. Pure questo rapporto dei due assi principali produce una differenza proporzionalmente assai più forte fra le distanze estreme; conciossiachè la distanza massima, od afelia, di Polimnia, è doppia della sua distanza minima, o perielia: e nel rapporto inverso, cioè di uno a due, differiscono le velocità del pianeta all'afelio ed al perielio.

Non è poi a credersi che nessun' altra delle planetoidi si accosti mai al sole più di Flora. Nessuna è così vicina al sole come Flora, alla loro distanza media; ma fra le dieci più vicine compagne di Flora, che sono Arianna, Feronia, Eunomia, Armonia, Melpomene, Saffo, Vittoria, Euterpe, Vesta e Clio, avvene cinque, cioè Arianna, Melpomene, Saffo, Vittoria, e Clio, le di cui eccentricità superano l'eccentricità di Flora in un rapporto abbastanza grande per far sì che ciascuno di quei cinque pianeti, nel suo rispettivo perielio, accostisi al sole più di quanto vi si accosta Flora. Quella delle planetoidi note che avvicinasi più di tutte al sole nel perielio, è Clio.

Quella però che ha la maggior distanza media dal sole è, come già dissi, Silvia; s'intende sempre fra le planetoidi note. Questa distanza media, che è 3.494, supera la distanza media di Flora, che è 2.202, in un rapporto alquanto più forte che da 3 a 2. Ma per sapere qual é, fra le planetoidi ora conosciute, quella che allontanasi più di tutte dal sole, non a distanza media ma a distanza massima, od afelia, fa d'uopo, anche qui, prendere in considerazione l'eccentricità. L'eccentricità dell'orbita di Silvia è invero delle più piccole. Sono considerevolmente maggiori le eccentricità delle immediate sue vicine, Massimiliana, e Freia; e molto maggiori an-

cora sono le eccentricità di Atalanta e di Polimnia: essendo quella di Atalanta 0.3024, e quella di Polimnia 0.3397. Attesa la minor distanza media, la grande eccentricità di Atalanta non basta per accostare il di lei perielio al sole più che il perielio di Silvia; ma vi bastano le eccentricità di Polimnia, di Massimiliana, di Freia, di Eufrosine. Quest'ultima ha la maggior distanza afelia fra le planetoidi note. Le eccentricità e le distanze, media, massima, e minima, di Flora, di Clio, di Silvia e di Eufrosine, in raggi medii dell' orbita terrestre, sono come segue:

Pianeti	Eccentricità	Dist. media	Dist. mass.	Dist. min.
Flora	0. 1568	2. 2017	2. 5469	1. 8565
Clio	0. 2364	2. 3617	2. 9200	1. 8034
Eufròsine . . .	0. 2215	3. 1505	3. 8483	2. 4527
Silvia	0. 0824	3. 4941	3. 7820	3. 2026

È facile lo scorgere da questo piccolo quadro che il perielio di Clio è più vicino al sole di quello che lo sia il perielio di Flora. La differenza è 0.053, presa per unità la distanza media della terra dal sole, la quale sappiamo essere prossimamente di 80 milioni di miglia. Perciò Clio, nella sua minor distanza dal sole, se gli accosta 4 milioni e 240 mila miglia di più che Flora alla di lei minima distanza. Tuttavolta Flora rimane quella che più si accosta al sole, *in media*, e che ha assolutamente il più breve periodo di rivoluzione attorno al sole, fra le planetoidi; periodo che è di 1193 giorni,

più una frazione di giorno. E così Silvia, per ora, è, fra le planetoidi note, quella che più allontanasi, in media, dal sole, e che ha assolutamente il più lungo periodo. Questo è di 2386 giorni, cioè doppio di quello di Flora.

Scorgesi però ancora dal piccolo quadro precedente, che le distanze delle planetoidi in generale differiscono poco fra loro. Infatti la maggior distanza media, quella di Silvia, non supera la minor distanza media, che è quella di Flora, che di un terzo incirca, come abbiam veduto: ma la distanza afelia, 2.9200, di Clio, la quale ha la minor distanza perielia, supera notabilmente la distanza perielia, 2.4527, di Eufrosine, la quale ha la maggior distanza afelia.

Siccome poi tutte queste varie orbite più o meno grandi, più o meno inclinate fra loro, non sono nè simili nè concentriche, avendo comune non già il centro, ma il fuoco attivo che risiede nel sole, e siccome di più gli assi maggiori ed i vertici sono rivolti in diversissime direzioni, ne segue che se si proiettassero queste varie curve sopra un solo piano, sembrerebbero formare una inestricabile confusione. Ne dà una qualche idea anche il nostro quadro trasparente (pag. 400, Vol. I) benchè esso non rappresenti che le orbite di quattro sole planetoidi. Esse sono però le più interessanti a conoscersi, cioè: le due estreme, Flora e Silvia; la maggiore di tutte, Pallade; e la più celebre, e prima scoperta, Cerere. È stato detto acconciamente che se tutte le orbite delle planetoidi si rappresentassero fedelmente in piccolo con dei cerchii di fil di ferro, nel tirare uno solo di questi fili di ferro, resterebbe impigliato tutto intero il viluppo.

Tutti questi piccoli pianeti, egualmente che i grandi, hanno un moto *diretto* attorno al sole; cioè girano attorno ad esso da ponente a levante come la terra, nello stesso senso ancora del moto rotatorio della terra

medesima, dei grandi pianeti e del Sole, attorno ai loro rispettivi assi. I satelliti pure hanno un movimento *diretto* attorno ai loro pianeti primarii, eccettuati soltanto i satelliti di Urano.

Siccome però questi termini di *ponente* e *levante*, applicati ai corpi ed agli spazii celesti sono atti a produr qualche confusione della mente, e si tratta di una delle più fondamentali nozioni dell'Astronomia, giova il darne una spiegazione più prolissa, ma di sicura chiarezza. Io imagino di collocarmi eretto sul polo settentrionale della terra, e dapprima tener fermi i piedi sulla di lei superficie, e conseguentemente di girare con essa. Allora io veggo passare quelle stelle o pianeti che mi stanno di fronte, dalla mia destra alla mia sinistra, o da *levante* a *ponente;* ma supponete che l'asse della terra sia un asse solido e di sensibile diametro, e che egli segua la terra nel di lei movimento annuo, ma non ruoti con lei, bensì essa ruoti attorno a lui, come fanno le ruote dei carri ordinarii, non quelle delle strade ferrate. Mi pianto dritto sopra questo asse materiale della terra, al punto Nord, quindi non giro colla terra, girando essa sotto i miei piedi. Io allora veggo quelle parti della terra alle quali rivolgo lo sguardo, per esempio una data montagna di ghiaccio, passare dalla mia sinistra alla mia destra, ossia da ponente a levante; il contrario di quanto mi pareva nel caso precedente. Se mi pianto dritto ed immobile sul polo settentrionale del sole, senza girare col sole stesso, e guardo ad una data macchia della superficie solare, veggo questa macchia passar dalla mia sinistra alla mia destra, come faceva la montagna di ghiaccio allorchè io stava ritto ed immobile sul polo settentrionale della terra. Guardando al cielo, da quella stessa mia posizione sul polo settentrionale del sole, veggo girarmi egualmente da sinistra a destra Mercurio, Venere,

la Terra, Marte, le Planetoidi, Giove, Saturno, Urano e Nettuno, con tutti i satelliti che gli accompagnano. Se vado a collocarmi in piedi ed immobile sul polo settentrionale di ciascheduno di questi pianeti primarii, veggo sempre girare egualmente dalla mia sinistra alla mia destra i globi stessi sopra i quali mi tengo ritto.

Così pure quando m'ergo sul polo settentrionale della terra, veggo la luna girarmi ancora da sinistra a destra: quando sono al polo settentrionale di Giove veggo i suoi quattro satelliti girar medesimamente dalla mia sinistra alla mia destra; e così parimenti l'annello e gli otto satelliti di Saturno quando sto ritto sul polo settentrionale di Saturno; ed il satellite di Nettuno, allorchè sto ritto sul polo settentrionale di quell' estremo pianeta. Perciò dico che tutti questi corpi, nelle loro individuali rivoluzioni e rotazioni, hanno la stessa direzione, e chiamo *diretto* il loro moto. Trovo una sola eccezione in questa universal ridda del sistema planetario: quando io sto ritto sul polo settentrionale di Urano, veggo i di lui satelliti, invece di girare come facevano gli altri dalla mia sinistra alla mia destra, girare dalla mia destra alla sinistra. Perciò dico che i satelliti di Urano hanno un movimento *retrogrado* (*). Così pure, tornando al polo settentrionale del sole, e di là osservando il moto delle comete, scorgo che anche la maggior parte di esse mi girano da sinistra a destra, come fanno i pianeti, e perciò dico che quelle comete hanno un moto *diretto*. Veggo però ancora che alcune altre, fra esse la celebre

---

(*) Nella nostra tavola, Tomo I, pag. 400, sono rettamente collocate le freccie, indicanti la direzione, eccettuate le due dei satelliti di Urano, le quali dovrebbero esser rivolte in contrario.

cometa di Halley, girano dalla mia destra alla mia sinistra. Dico che quelle hanno un movimento *retrogrado*.

La scoperta di Astrea, l'8 Dicembre 1845, ravvivò la curiosità e l'attenzione degli astronomi per questo singolar gruppo di corpi celesti, i primi quattro dei quali, Cerere, Pallade, Giunone e Vesta, erano stati scoperti al principio del secolo. Dal principio del 1846 a tutto il 1851 se ne scopersero dieci, nel seguente ordine: Ebe, Iride, Flora, la quale, come sappiamo, è la più vicina di tutte al sole, Meti, Igea, Partenope, Vittoria, Egeria, Irene ed Eunomia; in media furono dunque meno di due all'anno. La gran gara, direi quasi la corsa, per iscoprirne un numero sempre maggiore, non si manifestò in tutta la sua intensità che nell'anno 1852, durante il quale se ne trovarono otto: Psiche, Teti, Melpomene, Fortuna, Massalia, Lutezia, Calliope, e Talia. Nel 1853 non se ne trovarono che quattro: Focea, Temi, Proserpina, ed Euterpe; ma nel seguente anno 1854 se ne scopersero cinque: Antitrite, Urania, Eufrosine, Pomona, e Polimnia: quella dalla maggiore eccentricità.

Polimnia, scoperta da Chacornac il 24 Ottobre 1854, porta il numero 33. D'allora sino ad oggi, vale a dire in diciotto anni, se ne sono trovate altre 94, od in ragione di poco più che cinque all'anno. Uno degli anni di più povera raccolta fu il 1865: non vi fu che De Gasparis il quale scoperse Beatrice, così nominata, cred' io, in onore di Dante, e Luther che scoperse Clio. Il nome, come dicemmo, è quello della Musa della Storia; e la planetoide è quella che, a cagione della sua piccola distanza media, combinata colla sua grande eccentricità, accostasi più di tutte le compagne al sole nel di lei perielio.

Il trovar dei pianeti ad uno ad uno è un mezzo dei più sicuri di farsi onore, e non dei più facili invero;

però molto meno difficile che non era per esempio lo scoprire le tre leggi di Keplero, una sola delle quali vale cento volte più che la scoperta di cento pianetini. Eppure Keplero, il quale ebbe anche il merito di congetturare l' esistenza di questa medesima famiglia di pianeti, essendo il primo autore di ciò che poscia è stato chiamato la legge di Bode o di Titius, non fu riconosciuto per un grand' uomo, se non molti anni dopo la sua morte. La poca considerazione in che egli fu tenuto vivente, non è colpa speciale de' suoi contemporanei, ma della natura umana. Io tengo per fermo che s' egli vivesse ai nostri giorni, e andasse a battere alle porte officiali delle varie Accademie di Europa, o all' uscio privato delle illustri mediocrità che vi primeggiano, e presentasse loro anche con tutta modestia le sue tre leggi, ora tanto famose, essi degnerebbonsi appena di esaminarle. Gli converrebbe ancora oggi, come gli convenne due secoli fa, di aspettare ad ottener giustizia, quando uno o due altri grandi uomini adottassero e proclamassero le sue scoperte. Se Galileo e Newton furono riconosciuti per grandi, anche in loro vita, lo dovettero assai meno alle più sublimi loro divinazioni, uno sulla gravità terrestre, e l' altro sulla gravitazione universale, di quello che alla fortuna di aver potuto giugnere anche ad alcuni di quei trovati, la di cui importanza era invero di primo ordine ancor essa, ma di quelli cui gli scienziati ordinarii possono e sanno immediatamente verificare cogli occhi e colle mani; per esempio le fasi di Venere, ed i satelliti di Giove scoperti da Galileo; ed i sette colori del prisma scoperti da Newton.

LEZIONE LIX

I quattro grandi pianeti.

Nel gruppo dei quattro più grandi e più lontani pianeti, Giove, Saturno, Urano e Nettuno, Giove è ad un tempo il più grande ed il meno lontano dal Sole, come, per lo contrario, nel gruppo dei quattro pianeti mediocri, o tellurici, Mercurio è il più vicino al sole, ma insieme il più piccolo. Aggiuntovi il gruppo delle planetoidi, intermedio agli altri due gruppi, noi conosciamo sin d'ora 137 pianeti primarii, ed è probabilissimo che molti altri se ne scopriranno ancora: ma quelli fra i pianeti primarii che si possono discernere ad occhio nudo, con una facoltà visiva di ordinaria forza, furono e rimarranno sempre sei: cioè Mercurio, Venere, la Terra, Marte, Giove e Saturno. Solo nelle più favorevoli circostanze una vista delle più lincee, anche senza lenti, può scorgere Vesta ed Urano, sotto l'apparenza di stelle di sesta-settima grandezza. Giove è il più splendido di tutti i corpi celesti, dopo il sole, la luna, e Venere, ed eccettuato Marte ancora, per un breve periodo di tempo quando egli è in opposizione al sole, ed a noi più vicino. Dopo Venere, Giove e Marte, il più risplendente dei pianeti sarebbe Mercurio, inquantochè egli riceve assolutamente dal sole, non sopra l'unità, ma sopra la totalità della sua superficie, una quantità di luce eguale a quella mandata dal sole alla Terra ed a

Saturno; e Mercurio è sempre molto più vicino a noi che Saturno: ma, essendo egli un pianeta *interno*, cioè più di noi vicino al sole, quando trovasi in congiunzione inferiore col sole, ed alla sua minor distanza dalla terra, egli rivolge verso di noi il suo emisfero oscuro; ed allora e sempre, più o meno, l'effetto della sua luce viene illanguidito agli occhi nostri per cagione della luce crepuscolare. Saturno in opposizione al sole, e quindi alla minor distanza da noi, non la cede in apparente splendore che a Venere, Giove e Marte fra i pianeti, a Sirio fra le stelle fisse ora visibili in Europa. Urano ha lo splendore, come dissi, di una stella di settima grandezza, o piuttosto fra la sesta e la settima. Nettuno splende incirca come stella di ottava grandezza.

Perciò anche senza conoscere, per mezzo delle effemeridi astronomiche, la posizione precisa dei varii pianeti di giorno in giorno, non è difficile il distinguere uno dall'altro i pianeti principali, mediante il loro relativo splendore. Distinguonsi dalle stelle fisse anche perchè essi hanno un chiarore più tranquillo, e sono privi di scintillazione, o scintillano soltanto allorchè sono poco al di sopra dell'orizzonte, ed, anche allora, meno delle stelle. Giove è facile a confondersi, dai meno pratici, con Venere; ma, prestandovi sufficiente attenzione, possiam discernere l'uno dall'altra, non solo per la luce considerevolmente più viva, ed alquanto tremula o scintillante, che è propria di Venere, ma spesso ancora per la circostanza che Venere non allontanasi mai molto dal sole, cioè 45 od al più 47 gradi nelle massime elongazioni; perciò ella sorge non molto prima del sole quando è stella del mattino, e tramonta non molto dopo il sole quando è stella della sera; e non si dà mai il caso di vederla di notte presso allo zenit, o al meridiano; molto meno vederla a ponente nel mattino, o a levante di sera:

ma Giove, avendo un' orbita al di là della nostra, può apparirci anche in opposizione col sole, quindi si può vedere anche a mezzanotte; come pure egli si può trovare a ponente prima della mezzanotte, ed a levante nelle ore matutine.

Osservato poi col telescopio, Giove è molto più facile ancora a distinguersi da tutti gli altri corpi celesti. Ei differenziasi in primo luogo dalle stelle fisse perchè queste nel cannocchiale dardeggiano un fulgore adamantino, tanto più vivo ed intenso quanto maggiore è la superficie dell' obbiettivo, in paragone dell'apertura della pupilla dell' occhio.

Si chiama *obbiettivo* una gran lente convessa che sta nel telescopio all' estremità rivolta verso l' *obbietto* osservato. Dirò qui per incidenza che alcuni chiamano cannocchiale, in francese *lunette*, od anche *rifrattore*, il tubo ottico a rifrazione, ove il concentramento della luce è tutto dovuto alle lenti di vetro; e riservano il nome di telescopio al tubo ottico a riflessione, nel quale un grande specchio metallico e concavo presta l' uffizio stesso fatto nel cannocchiale dalla lente maggiore. Si chiama poi *oculare* una lente più piccola, che sta dalla parte dell' *occhio*, ed è sempre convessa nei cannocchiali o telescopii astronomici, benchè rovesci le imagini: piccolo inconveniente per gli astronomi; ma nel cannocchiale Galileano, la di cui forma è sufficientemente atta a molte osservazioni celesti, al segno che Galileo fece con esso le sue grandi scoperte astronomiche, ma che si usa preferibilmente per osservare i luoghi e gli oggetti terrestri, ed anche pel teatro, l' oculare è concavo, come le lenti pei miopi, onde raddrizzare le imagini.

Così la quantità di luce che viene all' occhio da una stella o da un pianeta, mediante un telescopio di

qualunque genere, è sempre molto aumentata, e si rendon visibili in grandissimo numero astri impercettibili ad occhio nudo; ma, attesa l'enorme distanza, il diametro apparente delle stelle non ne è punto aumentato, anzi sembra piuttosto impiccolito, perchè il cannocchiale distrugge in gran parte un'illusione ottica, la quale faceva comparire, ad occhio nudo, più grande del giusto il diametro apparente delle stelle. Giove e gli altri pianeti, per lo contrario, osservati col cannocchiale assumono un maggior diametro apparente, nel rapporto della distanza focale dell'obbiettivo alla distanza focale dell'oculare. La grandezza apparente poi aumentasi nella ragione del quadrato del diametro apparente. E siccome il fuoco dell'obbiettivo dev' essere prossimo all'oculare, e quindi la distanza focale dell'obbiettivo è quasi eguale alla lunghezza del cannocchiale, ne segue che per una data lente oculare, la quale può facilmente cambiarsi, l'ingrandimento apparente è incirca proporzionale al quadrato della lunghezza del telescopio. Così se il rapporto delle distanze focali è come da cinquanta ad uno, il cannocchiale farà comparir Giove, quand'è a media distanza da noi, grande come la luna.

Osservato col telescopio Giove si distingue in particolare dagli altri pianeti per le sue quattro lune o satelliti, che sempre lo accompagnano, ed appariscono disposte incirca in linea retta con lui. Saturno si distingue anche pe' suoi satelliti, ma meglio pel suo annello. I due pianeti *interiori*, Venere e Mercurio, si distinguono anche per le loro fasi, simili a quelle della luna, mentre Marte, Giove, e gli altri pianeti *esterni* presentansi sempre sotto l'aspetto di dischi luminosi di quasi perfetta rotondità; eccettochè Marte presenta una figura *gibbosa*, od alquanto scema da una parte, allorchè è presso alle sue posizioni di quadratura col sole, rivol-

gendo egli allora verso di noi una piccola parte del suo emisfero oscuro.

Giove, Saturno ed Urano distinguonsi ancora per le loro fascie. Queste fascie sono press' a poco paralelle all' equatore del pianeta, e perciò da Herschell e da altri sono state credute fenomeni atmosferici, dovuti a delle correnti analoghe ai nostri venti alisei. Ma queste fascie assumono forme ed estensioni sensibilmente diverse da un giorno all'altro, talvolta in poche ore, ciò che mostra l' analogia di quelle correnti con dei grandi uragani. Ora un' atmosfera composta di gas trasparenti, e sgom-

bra di vapori, qualunque fossero i suoi movimenti, non potrebbe produrre questa varietà di apparenze; bisogna dunque supporre che vi siano dei vapori, ora allo stato ordinario di elasticità e di trasparenza, quindi invisibili a noi, ora allo stato ordinario vesicolare, o di nubi, e perciò atti ad essere avvertiti anche da noi. Questi vapori possono essere, e probabilmente sono in parte, vapori acquei: ma possono essere ancora, e probabilmente sono, per un' altra parte, vapori di altre sostanze, solide o liquide a temperatura ordinaria. Nell' uno e nell' altro caso il primo passaggio di queste sostanze dallo stato liquido all' aeriforme, deve aver luogo per eccesso di temperatura e per variazioni plutoniche di pressione nel-

l'interno del pianeta; ma eruttati poi questi vapori nell'atmosfera, ove trovano una bassa temperatura, vi si condensano in vapori vesicolari, in nubi, ed in pioggie.

Il sole non può avere che una piccolissima parte in queste variazioni, per quanto dipende dalla di lui diretta influenza sull'atmosfera di Giove; e ciò per varie ragioni: primieramente perchè non essendo molto grande l'eccentricità dell'orbita di Giove, 0.048, e proporzionatamente assai più piccola l'inclinazione del piano di quest'orbita al piano dell'equatore di Giove, deve essere altresì piccolissima la varietà delle quattro stagioni nel gran pianeta; oltrechè quelle stagioni hanno un periodo dodici volte più lento del nostro. Ma poi, il calore mandato dal sole a Giove, sull'unità di superficie, è ventisette volte più debole che quello mandato alla terra. Ora se la superficie e l'atmosfera di Giove non ricevessero altro calorico che quello del sole, per serbare una temperatura media prossimamente costante, come fa la terra, dovrebbero dare per raggiamento agli spazii celesti tanto calore quanto Giove ne riceve dal sole. Considerando adunque che la perdita di calorico, sull'unità di superficie ed in un dato tempo, è, secondo la semplice e comoda legge di Newton, proporzionale alla differenza di temperatura; considerando di più che la temperatura media della superficie terrestre può ritenersi incirca 20 gradi sopra zero, e quella degli spazii celesti 140 sotto lo zero, quindi si ha una differenza di 160 gradi; considerato infine che il calorico lanciato verso il cielo da un metro quadro della superficie di Giove sarebbe 27 volte meno del calorico lanciato verso il cielo da un metro quadro della superficie terrestre, concluderemo che la differenza fra la temperatura dello spazio, che è 140°, e la ignota temperatura media della superficie di Giove, dovrebbe essere la ventisettesima parte di 160

gradi; cioè la temperatura media della superficie di Giove dovrebbe essere di sei gradi soltanto al di sopra della temperatura media dello spazio, o cento gradi incirca al di sotto del punto di congelazione del mercurio.

Ad una tale temperatura media non vi può essere alcuna sensibile evaporazione di acqua, e quindi niuna sensibile precipitazione di vapori. Se vi sono delle nubi variabili nelle nostre zone polari, anche con venti gradi sotto lo zero, i vapori che ivi si condensano in nebbia o nuvola, vennero per vento dalle zone più calde, ove regnavano delle temperature molto superiori a zero: ma la temperatura media dell' equatore di Giove, se non vi fosse altro calore che quello mandato sin là dal sole, sarebbe di moltissimi gradi al di sotto di zero.

Conchiudo insomma che in Giove, in Saturno ed in Urano, ove si vedono le fascie, probabilmente anche in Nettuno, dove è difficile lo scorgerle a cagione della enorme distanza da noi, la superficie è principalmente riscaldata, non dal sole, ma dalle comunicazioni col calor centrale del pianeta, come certamente avveniva in grandi proporzioni nella nostra terra prima della comparsa dell' uomo, e come tuttora avviene, benchè in assai minor grado. Se però il sole ha poca parte diretta nelle vicende termiche dell' atmosfera di Giove, e degli altri pianeti più lontani, può avervi una parte indiretta, ma di grande efficacia, nel promuovere unitamente ai satelliti, le variabili maree sotterranee di quei grandi globi (Lezioni 48, 49, 50, 52).

Passando omai dalle congetture più o meno verosimili, suggeriteci dal variabile aspetto dei pianeti, alle conchiusioni molto meno facili a controvertersi, della Geometria e della Meccanica celeste, intorno alle loro distanze e dimensioni, dirò prima che il periodo della rivoluzione di Giove attorno al Sole è un po' meno di

dodici anni (Lez. XXIX); più precisamente 4332 giorni, 14 ore, e 2 minuti. Da questo periodo paragonato a quello della terra, e dalla terza legge di Keplero (Lez. LV, pag. 286) si deduce il preciso rapporto delle distanze medie del sole da Giove e dalla terra. Presa per unità la distanza media della terra dal sole, si ha la distanza media di Giove dal sole 5.202798: quindi la distanza assoluta sarà prossimamente 795 milioni, o solamente 771 milioni, di chilometri, secondo che si ammette la parallassi solare del 1769 o quella del 1864.

Il volume di Giove, in numeri tondi, si può computare 1500 volte, o soltanto 1400 volte maggiore che il volume della terra, e la massa 340, ovvero 310, secondo che ci atteniamo all'una od all'altra parallassi. Nell'una e nell'altra ipotesi la massa del sole è 1050 volte più grande che la massa di Giove, perchè l'errore della parallassi, se c'è, vizia il presunto rapporto fra la massa del sole e quella della terra, ma non il rapporto fra la massa del sole e quella degli altri pianeti. In tutti casi il volume di Giove solo supera i volumi di tutti gli altri pianeti riuniti, nel rapporto di circa dieci ad otto; e la massa di Giove supera le masse riunite degli altri pianeti in una proporzione più forte ancora, cioè incirca come dieci a quattro. Per la qual cosa attagliasi perfettamente al pianeta Giove, rispetto alla prevalenza della di lui massa, e quindi della sua forza attrattiva, sopra quella degli altri pianeti primarii e secondarii, ciò che ingegnosamente disse Omero nell'ottavo libro dell'Iliade, per indicare la superiorità morale ed intellettuale di Giove rispetto agli altri numi del vecchio Olimpo; benchè la magnifica allegoria adatterebbesi meglio ancora, in un senso astronomico, alla preponderanza del sole sopra i suoi pianeti

« *Allor saprà che degli Dei son io*
Il più possente. E vuolsene una prova?
D' oro al cielo appendete una catena,
E tutti a questa v' attaccate, o Divi,
E voi, Dive, e traete. E non per questo
Dal ciel trarrete in terra il sommo Giove,
Supremo senno, neppur tutte oprando
Le vostre posse. Ma ben io, se il voglio,
La trarrò colla terra e il mar sospeso;
Indi alla vetta dell' immoto Olimpo
Annoderò la gran catena, ed alto
Tutte da quella penderan le cose:
Cotanto il mio poter vince de' Numi
Le forze, e de' mortai. Qui tacque, e tutti,
Dal minaccioso ragionar percossi,
Ammutolîr gli Dei. »

Giove aggirasi attorno al proprio asse in nove ore e 55 minuti, ossia in dieci ore meno cinque minnti. Questa rapidissima rotazione, in una mole così grande, genera per necessità una potentissima forza centrifuga, la quale è incirca un nono della gravità all' equatore di Giove. Lo schiacciamento dovrebbe essere, secondo il calcolo, prossimamente un settimo, se la massa di Giove fosse omogenea; lo schiacciamento effettivo è però minore, poichè risulta dalle osservazioni micrometriche di Arago che l' asse polare sta al diametro equatoriale in ragione di 16 a 17. Ciò prova che la densità di Giove, come quella della terra, va aumentando dalla superficie al centro.

La massa di Giove si determina confrontando i periodi e le distanze dei quattro satelliti da Giove stesso, colla distanza della luna dalla terra, e col suo periodo. Dividendo la massa di Giove pel volume, si determina la sua densità, e la si trova alquanto minore di un quarto

della densità media della terra, ma maggiore della densità dell'acqua, nel rapporto di 13 a 10. La gravità alla superficie di Giove è quasi tripla della nostra; più prossimamente nel rapporto di 8 a 3.

Sappiamo già che Giove ha quattro satelliti o lune, in luogo di una sola che abbiam noi. Benchè i satelliti di Giove sieno da lui molto più distanti che non è la luna dalla terra, pure, a cagione della gran massa di Giove, essi gli girano attorno con molto maggiore celerità che non fa la luna attorno la terra. Il primo o più vicino satellite vi impiega meno di due giorni, cioè un giorno, 18 ore e 28 minuti: il quarto o più lontano vi impiega 16 giorni, 16 ore, e 32 minuti. Tra per questa brevità di periodi, e per la poca inclinazione dei piani delle orbite dei satelliti al piano dell'orbita di Giove, sono frequentissime per Giove le ecclissi di sole e di luna; vale a dire che assai di sovente i satelliti traversano il cono dell'ombra di Giove, e così restano essi ecclissati; e spessissimo ancora proiettano la loro propria ombra sul gran corpo di Giove, ciò che agli occhi degli abitanti di Giove, se ve ne sono là dove cade quell'ombra, è un'ecclissi di sole.

Il secondo satellite, che è il più piccolo dei quattro, è un po' meno grande della nostra luna; il primo, o più vicino a Giove, è già un po' più grande della luna; il terzo, che è il più grosso, vince di quasi due terzi il volume di Mercurio.

Saturno è il maggiore dei pianeti subito dopo Giove: ma, come fu detto di Virgilio ch'egli era il secondo, più vicino però al primo, cioè ad Omero, che al terzo, chiunque voglia considerarsi pel terzo fra i grandi poeti, così può affermarsi con incontrastabile verità che Saturno è assai più vicino a Giove, tanto per posizione che per grandezza, di quello che gli altri pianeti si av-

vicinino a Saturno. Infatti il volume di Saturno è prossimamente cinque ottavi del volume di Giove: ma il volume di Nettuno, il quale è il più grosso di tutti i pianeti dopo Giove e Saturno, non è per volume che la decima parte di Saturno, ed Urano non ne è che un'undicesima o dodicesima parte. Non c'è bisogno di dire che il volume di Saturno supera in una proporzione molto più forte ancora tutti gli altri pianeti. Saturno infatti è, per volume, circa novecento volte più della Terra. La massa di Saturno non è che tre decimi della massa di Giove; quindi la densità di Saturno è la metà incirca della densità di Giove, ed eguale press'a poco alla densità media dei legni.

In grazia di questa piccola densità, malgrado il gran volume, la gravità alla superficie di Saturno non supera che di un decimo la gravità alla superficie terrestre. È una curiosa circostanza, che vi sono quattro pianeti la di cui gravità diversifica poco da quella della terra: la gravità di Saturno, che le è alquanto superiore; e quelle di Nettuno, di Urano, e di Venere, che le sono alquanto inferiori.

Contuttociò Saturno supera grandemente tutti gli altri pianeti, tranne Giove, anche per massa. Infatti la massa di Saturno fa quasi sei volte quella di Urano, e cinque volte quella di Nettuno, mentre ella è almeno 92 volte più grande che la massa terrestre.

Ma sotto un altro punto di vista Saturno forma colle sue appendici la parte più ricca e più ammirabile del nostro sistema solare; conciossiachè attorno al suo gran globo sta sospeso perennemente un grande anello circolare, composto di due o tre minori anelli concentrici; ed inoltre vi sono non meno di otto lune o satelliti, i quali aggiransi attorno al pianeta a varie distanze, ed in varii periodi. Questi periodi e distanze sono legate da

belli ed armoniosi rapporti, cui noteremo in altre lezioni, trattando delle geuranie.

L'annello totale ha una grossezza comparativamente piccolissima, paralella all'asse di rotazione del pianeta, coincidendo il piano principale dell'annello col piano dell'equatore di Saturno. Ho detto che l'annello totale è composto di due o tre anelli concentrici; ma questa divisione è un poco arbitraria; imperciocchè l'annello esterno, egualmente che l'interno, sembrano suddivisi in due annelli ciascheduno; laonde potrebbe dirsi che gli annelli sono cinque: ma potrebbe ancora considerarsi la parte più interna dell'annello totale come un'appendice dell'annello intermedio, che è il principale ed il più brillante, e così dirsi che l'annello totale è diviso in due parti Considerando l'annello totale come diviso in tre annelli, può dirsi che l'annello intermedio è più brillante non solo degli altri due annelli, ma ancora più brillante che la superficie del pianeta. L'annello esterno, o di maggior diametro, ed il più lontano dal pianeta, è separato dall'annello intermedio per mezzo di uno spazio vuoto ben pronunciato, mentre che l'annello interno, o più vicino al pianeta, sembra aderire all'annello intermedio. Esiste un'importante differenza fisica fra i tre annelli: l'esterno è meno brillante di quello di mezzo, ma opaco come esso, e tutti e due gettano sul pianeta

un' ombra ben pronunciata; mentre l' annello interno è non solo più oscuro degli altri due, ma ancora imperfettamente trasparente, e lascia intravvedere, attraverso a lui, il disco luminoso di Saturno.

Herschell stimò la grossezza dell' annello cento leghe soltanto, o quattrocento chilometri: grandissimo invece è il diametro dell' annello totale, cioè 21 raggi della terra, o raggi 2.229 di Saturno; equivalenti a circa 130 mila chilometri; mentre il raggio interno dell' annello totale equivale a 14 raggi terrestri, e quindi la larghezza dell' annello totale è la metà del raggio interno, ed un terzo del raggio esterno. La larghezza poi dell' annello esterno è metà della larghezza dell' annello interno, o principale; il vano che li separa è largo un nono della larghezza dell' annello principale: e questo vale due volte ed un terzo la larghezza dell' annello oscuro od interno.

Il piano dell' equatore di Saturno, e quindi ancora il piano dell' annello che con esso prossimamente coincide, presentano una grande inclinazione, circa 64°, al piano dell' orbita del pianeta. Ne nasce una grande varietà di stagioni pel pianeta stesso, benchè, a parer mio, ivi pure, come negli altri pianeti più del nostro lontani dal sole, la temperatura della superficie e dell' atmosfera sarà dovuta alle contribuzioni plutoniche del calore interno del pianeta, assai più che alla diretta azione del sole. Ma la grande obliquità del piano dell' annello al piano dell' orbita di Saturno, la quale non è inclinata che di due gradi e mezzo al piano dell' Ecclittica o dell' orbita nostra, fa sì che l' annello presentasi a noi in circostanze differentissime di prospettiva, durante la rivoluzione di 29 anni e 167 giorni di Saturno attorno al sole. Ora noi vediamo l' annello quasi di fronte, e perciò nel suo maggior splendore, confuso però all'occhio nudo,

con quello del pianeta: ora lo vediamo di coltello, e riducesi ad una sottilissima linea lucida, anche osservato co' migliori telescopii. In una delle circostanze poco favorevoli, Galileo prese l'annello per due satelliti: in altra circostanza anche più sfavorevole, non potendo rivedere le due lucide appendici, credette di essersi interamente ingannato la prima volta, come erasi ingannato di fatti, ma soltanto in parte. Fu Huyghens che realmente scoperse l'annello, come un immenso ponte circolare e continuo, attorno al pianeta. Laplace argomentò che l'annello doveva avere un moto rotatorio attorno al pianeta, quale avrebbe un satellite a quella medesima distanza, affinchè la forza centrifuga; generata da quella rivoluzione, possa elidere la forza centripeta, o l'attrazione del pianeta.

Veramente si richiede, di più, che ciascun annello abbia la sua rotazione distinta: una più rapida l'annello interno, ed una più lenta l'anello esterno: o se il tutto è composto di molte miriadi di corpuscoli separati, ma così prossimi da confondersi in un tutto indistinto anche agli occhi muniti de' migliori istrumenti, ognuno di quei corpuscoli deve avere il suo periodo distinto di rotazione. Il calcolo addita per la velocità media dell'annello un periodo di rivoluzione di sole quattro ore ed un terzo: velocità enorme invero: ma Herschell confermò coll' osservazione effettiva questo risultato della teoria pura.

Degli otto satelliti di Saturno, il più vicino al pianeta dista dal centro di esso solamente tre raggi ed un terzo del pianeta stesso, e quindi dall'annello esterno dista poco più di un solo raggio del pianeta. È naturale adunque che questo satellite abbia pure una rivoluzione rapidissima, benchè meno rapida che la rivoluzione dell'annello. Il periodo di questo primo satellite è, in fatto,

22 ore e 36 minuti. L'ottavo, la cui distanza dal centro è più di 64 raggi equatoriali di Saturno, ha naturalmente un periodo assai più lungo; cioè di 79 giorni, sette ore e 55 minuti, in conformità della terza legge di Keplero.

Il più grosso di questi otto satelliti è il sesto nell'ordine delle distanze da Saturno. Gli han dato il nome proprio di Titano. Si stima il diametro di Titano un sedicesimo del diametro di Saturno; quindi egli sarebbe alquanto più grande di Marte.

Avendo omai parlato abbastanza a lungo dei due più grandi pianeti, parlerò più brevemente dei loro due minori, benchè ancor grandi, compagni. Urano fu scoperto il 13 Marzo 1781 da Herschell. Il suo periodo dura incirca 84 anni, più esattamente 30686.82 giorni; donde si argomenta che la di lui distanza media dal sole è 19.1826. È probabile che egli abbia otto satelliti; i sei più esterni furono scoperti da Herschell, i due più interni da Lassell. Humboldt giudiziosamente nota che Herschell, oltre la sua straordinaria abilità come osservatore, ed il grandissimo telescopio di cui era munito, aveva ancora sortito dalla natura un'acutissima vista. Anche Lamont ha veduto l'ottavo; nessuno ha ancora potuto rivedere il settimo satellite di Urano, ma non è verosimile che Herschell siasi ingannato credendo vederlo. Le distanze dei sei primi dal pianeta sarebbero fra esse prossimamente in progressione aritmetica; le distanze dei tre ultimi, o più lontani dal pianeta, cioè il sesto, settimo ed ottavo, sarebbero in progressione geometrica, colla ragione del duplo. Il periodo del primo e del secondo, cui hanno dato due curiosi nomi di angeli, **Ariël** ed **Umbriël**, sono rispettivamente di giorni 2.52, e 4.14. Il periodo dell'ottavo sarebbe prossimamente 108 giorni.

Han dato egualmente due altri nomi proprii, Ti-

tania ed Oberon, agli altri due satelliti di esistenza accertata, cioè a quelli che sono rispettivamente quarto e sesto quando se ne contano otto. Così eransi già dati dei nomi proprii agli otto satelliti di Saturno, chiamandoli rispettivamente: *Mima, Encelado, Teti, Dione, Rea, Titano,* che è il più grosso di tutti come già dissi, *Iperione* e *Giapeto.* È infatti utile o necessario il dare a tutti questi satelliti, egualmente che ai pianeti primarii, dei nomi proprii indipendenti dal presunto ordine delle distanze, per evitare la confusione nel caso che se ne scoprano degli altri in posizioni intermedie.

Urano, a cagione della gran lontananza, non ci lascia scorgere delle prove dirette della sua rotazione, ma ce ne porge una indiretta nella forma schiacciata del suo disco. Il moto de' suoi satelliti ci presenta una particolarità unica nel nostro sistema planetario. Essi descrivono attorno ad Urano delle orbite i di cui piani sono quasi perpendicolari al piano della sua orbita; nè in ciò consiste la singolarità, essendovi un fatto analogo nel sistema di Saturno: la singolarità sta in questo, che tenendo conto della leggera obliquità di queste orbite rispetto al piano dell' orbita del pianeta, esse hanno un movimento *retrogrado*, cioè in un senso opposto alla direzione generale dei movimenti di rivoluzione di Urano stesso e degli altri pianeti attorno al sole.

Veniamo omai a parlare dell' ultimo o più lontano fra i pianeti del maggior gruppo e di tutto il sistema solare. La scoperta di Nettuno nell'autunno del 1846 fu salutata con uno straordinario entusiasmo non solo dagli astronomi, ma da tutti quelli che avevano un qualche principio di coltura in Europa ed in America. Oggi ancora quell' avvenimento astronomico viene considerato qual uno de' più bei trionfi della scienza; e fuor di dubbio lo è, quantunque nol sia precisamente in quel

modo più semplice ed in quel grado più perfetto che comunemente si suppone. Nessuna storia, neppur quella della severa scienza contemporanea, va interamente immune da una qualche mescolanza colla leggenda: ed i critici, nel fare un confronto fra la storia antica e la moderna, dovrebbero ispirarsi a maggior indulgenza ed equità verso la prima, evitando del pari i due opposti eccessi di ammetter tutto con cieca credenza, o di rigettare come esclusivamente favolosi dei racconti che lo sono soltanto in parte.

È insigne nella Meccanica celeste il così detto problema *dei tre corpi*. Io che avrei tante cose importanti a dire per adempiere anche imperfettamente il mio vastissimo còmpito, e non posso dedicare a ciascheduna una lezione a parte, fo il mio debito di accennarle almeno per incidenza, ed a proposito di altri argomenti principali, ogni volta che a me presentasi l' occasione. Approfitto qui dunque della relazione cui ha il problema dei tre corpi colla scoperta di Nettuno, per ispiegare alla meglio in che consista un siffatto problema.

Le tre leggi di Keplero (Lez. LV) verificansi nel nostro sistema solare in un modo puramente approssimativo: le deviazioni però dalle rigorose leggi Kepleriane sono piccolissime, e dovute alle reciproche attrazioni dei pianeti. Questi effetti delle reciproche influenze dei pianeti si chiamano perturbazioni. Ma dalla estrema piccolezza di questi effetti secondarii dell' attrazione, a fronte della prepotente azione esercitata dal Sole sopra i pianeti, risulta una conseguenza comodissima pei calcolatori, cioè che invece di aver a considerare tutte in cumulo la moltitudine delle forze perturbatrici, ciò che formerebbe un problema inestricabile, noi possiam calcolarle separatamente ad una ad una, sostituendo ad ogni forza elementare tre forze componenti che siano

rispettivamente paralelle a tre assi coordinati, ed infine sommare insieme tutte quelle che sono paralelle a ciascun asse; colla certezza che la perturbazione complessiva, riferita egualmente a quei tre assi, sarà la somma o differenza di tutte le perturbazioni elementari.

Giovanni Herschell, il figlio dello scopritore di Urano, paragonò acconciamente l'influenza di tutte le piccole perturbazioni parziali alle piccole onde, generate da una brezza leggera, dal movimento di una nave, dal gettare di un sasso, dal guizzare dei pesci sulla superficie già precedentemente agitata del mare. Tutte queste ondulazioni propagansi sulla superficie dell'Oceano come se essa fosse piana, benchè vada soggetta alle grandi oscillazioni del flusso e riflusso, o di una precedente burrasca; e le piccole come le grandi onde, le nuove come le vecchie, inerocicchiansi insieme in mille direzioni, senza distruggersi sensibilmente, senza neppur confondersi l'una coll'altra ad un occhio che attentamente le osservi, eccettochè ove se ne studino gli effetti accumulati per lunghissimi tratti di tempo.

Per la qual cosa, nell'indagare le perturbazioni complessive, esercitate da tutti gli altri pianeti sopra un solo pianeta, basta il sommare o sottrar gli effetti prodotti nel moto del dato pianeta da ciascheduno degli altri pianeti separatamente presi, e specialmente dai più grossi e più vicini; potendosi, senza grave errore, porre in non cale le influenze perturbatrici dei più lontani e più piccoli. Ora *il problema dei tre corpi* è appunto questo: data la posizione di due pianeti rispetto al sole, trovar le mutue perturbazioni di essi due pianeti.

Si perviene alla soluzione del problema per via di lunghi e laboriosi ma non difficilissimi processi di calcolo; fra gli altri con questo artificio, di risolvere l'attrazione del pianeta perturbatore, sul perturbato, in due

forze, una nella direzione del raggio vettore, e l'altra nella direzione della tangente alla traiettoria: la prima si chiama *forza radiale*, l'altra ha il nome di *forza tangenziale*. La forza radiale opponsi alla fedele esecuzione della terza legge di Keplero, ma non tocca la prima: conciossiachè se la perturbatrice radiale spinge il pianeta perturbato verso il sole, esso tende a diminuire le dimensioni dell'orbita, e ad abbreviare il periodo di rivoluzione: se, invece la forza radiale allontana il pianeta dal sole, essa tende ad aumentare le dimensioni dell'orbita, e conseguentemente ad allungare la durata del periodo. La forza tangenziale, per lo contrario, opponsi non solo alla terza legge, ma ancora alla prima, col togliere l'esatta proporzionalità dei tempi e delle aree. Essa infatti accelera il moto del pianeta quando la perturbatrice tangenziale è nella medesima direzione del moto regolare del pianeta, ossia lo tira e sospinge *innanzi;* ma *ritarda* il pianeta, se essa *lo tira indietro*, ossia agisce nella direzione opposta al moto regolare. Perciò, quando i due pianeti avvicinansi al punto della loro congiunzione eliocentrica, siccome il più vicino al sole corre più forte egli sta per raggiugnere il compagno, e lo *ritarda;* essendone, per lo contrario, accelerato egli stesso. Dopo la congiunzione, avviene tutto l'opposto; il pianeta più vicino, il quale ha già oltrepassato il suo compagno, ne viene ritardato; mentre il pianeta lontano ne viene accelerato.

Questo metodo aveva condotto gli astronomi a trovare, con sufficiente approssimazione al vero, le perturbazioni cagionate nell'orbita di Urano dalle attrazioni riunite dei due grandi pianeti Giove e Saturno; e non pertanto rimanevano nei moti di Urano certe anomalìe delle quali essi non sapevano render ragione. Alcuni arrivavano persino a sospettare che le belle e semplici

leggi neutoniane della gravitazione cominciassero a venir meno, od a patir qualche eccezione, in quegli allora estremi confini conosciuti del sistema solare. Bouvard ed altri fecero un supposto più ragionevole: che le irregolarità non ancora spiegate di Urano derivassero dall'attrazione di un pianeta più lontano. Due giovani matematici, Adams inglese, e Leverrier francese, quest' ultimo ad eccitamento di Arago, si accinsero a risolvere l' inverso del problema dei tre corpi: date le perturbazioni di Urano, trovare la posizione e la massa dell' ignoto pianeta perturbatore.

Era questo un problema ben più faticoso ed irto di difficoltà, di quello che il problema diretto. Bisognava prima, coll' aiuto della Trigonometria sferica, dalle posizioni di Urano, apparenti agli occhi degli osservatori posti sulla superficie della terra, dedurre le sue posizioni *geocentriche*, ossia quelle ch' egli avrebbe assunto agli occhi di un osservatore posto nel centro della terra; e dalle posizioni geocentriche dedurre le *eliocentriche*, ossia i punti del cielo nei quali apparirebbe Urano agli occhi di chi lo guardasse dal centro del sole. In seguito faceva di mestieri confrontar queste reali posizioni eliocentriche con quelle che sarebbero appartenute ad Urano se non esistessero perturbazioni di alcuna specie, e così rilevare quali erano le perturbazioni totali: in quarto luogo bisognava, in queste perturbazioni complessive, sceverar la parte dovuta ai pianeti già noti da quella attribuibile al nuovo ed ignoto pianeta.

Qui cominciava la parte più scabrosa del problema, perchè era in qualche guisa un problema indeterminato, e passibile di soluzioni diverse. Per avvicinarsi di più a renderlo un problema determinato, era da cercarsi il momento in cui Urano, paragonato a ciò che avrebbe

dovuto essere per le sole cause note, cessava di essere accelerato e cominciava ad essere ritardato. Quello doveva essere il momento della congiunzione eliocentrica di Urano coll' invisibile pianeta. Non era difficile il riconoscere che l' istante di confine fra il periodo di accelerazione e quello di ritardo, era stato incirca nell' anno 1824, val a dire un ventidue anni prima del 1846, epoca dei calcoli di Adams e di Leverrier.

Supposta esatta quella determinazione, rimanevano ancora indeterminate la distanza e la massa dell' invisibile pianeta: perchè una data perturbazione può tanto esser prodotta da un piccolo pianeta vicino, quanto da un gran pianeta lontano. Molto più rimanevano ignoti gli altri elementi che si richiedono per determinare appieno un' orbita planetaria. Ma quel dato fondamentale, cioè l' anno e la posizione della congiunzione eliocentrica dei due pianeti, ad un' epoca recente, bastava da solo a fare scoprir col telescopio il nuovo pianeta. Leverrier aveva già con sagaci e giuste ragioni eliminato l' ipotesi che l'orbita del nuovo pianeta fosse vicinissima o lontanissima da Urano: imperciocchè, diceva egli, se l' ignoto pianeta fosse vicinissimo ad Urano, dovrebbe essere molto piccolo, come sono piccole le perturbazioni, ma queste perturbazioni non sarebbero sensibili che per un periodo più breve del vero; se l' ignoto pianeta fosse lontanissimo, e quindi molto grande, per poter produrre le controverse perturbazioni di Urano, ne produrrebbe delle sensibili anche in Saturno; ciò che non è.

Perciò tanto Leverrier, come il suo competitore Adams, si fermarono al supposto, il quale sembrava allora il più verosimile, che la posizione del nuovo pianeta seguisse la legge di Bode, e si trovasse ad una distanza dal sole doppia incirca di quella di Urano. Avrebbero dovuto ancora considerare la possibilità che

gl'intervalli dei tre pianeti estremi, Saturno, Urano ed il nuovo, seguissero piuttosto l'esempio degl' intervalli eguali dei tre primi, Mercurio, Venere e Terra, come poi si è verificato col fatto. Tuttavia ammettendo dei limiti anche più larghi per la probabile distanza dell'ignoto pianeta, ed un periodo di rivoluzione da 150 a 240 anni, il nuovo pianeta, in 22 anni dopo la congiunzione con Urano, doveva aver progredito 33 gradi *almeno*, o 53 gradi *al più*: i limiti d'incertezza in longitudine erano dunque 20 soli gradi. L'esempio degli altri grandi pianeti faceva pur supporre una piccola inclinazione nell'orbita del nuovo: tuttavia accordando una larghezza di cinque gradi ai limiti della latitudine, si aveva ad esplorare un quadrilatero eguale alla quattrocentesima parte incirca della volta celeste. Era probabile che la luce del nuovo pianeta fosse come nelle stelle dalla settima alla nona grandezza: si poteva dunque sperar di trovarlo col lavoro di poche notti, anche con telescopii di mediocre potenza.

Il pretendere di poter determinare con sicurezza, prima della scoperta effettiva, la precisa distanza, l'eccentricità, l'inclinazione, la longitudine del perielio, la massa, il volume, coi soli mezzi cui allora possedeva la scienza, ben anche con quelli che ella possiede oggi, era un'illusione. Ma la capricciosa e cieca sorte, o per meglio dire le cause ignote, le quali esercitano sempre un grande impero sulle cose umane, favorirono quell'illusione con un successo che non si sarebbe potuto ragionatamente aspettare. Nella sua memoria letta in compendio all'Accademia delle Scienze il 31 Agosto 1846, Leverrier, assegnò gli elementi come segue:

Semiasse maggiore dell'orbita . .	36 154
Rivoluzione siderea, anni. . . .	217.387

Eccentricità	0.10761
Inclinaz. all'orbita di Urano, almeno	4° 38'
Massa, essendo 1 quella del sole .	$\frac{1}{9300}$
Longitudine del perielio	284° 45'
Longitudine vera, il 1.° Genn. 1847 .	326° 32'
Distanza dal sole, nello stesso giorno	33.06

Erano tutti elementi sbagliati; grandemente sbagliati; tranne uno solo, cioè la longitudine vera nel 1.° Gennaio 1847, e quindi anche quella del 23 Settembre 1846, le quali in parte per merito del calcolatore, in parte per merito di madonna Fortuna, dilungavansi poco dalla verità.

Guidato da questa semplice indicazione, il Berlinese Astronomo Galle, nel giorno stesso che ne ricevette preghiera da Leverrier, il 23 Settembre 1846, guardò al cielo, e alla distanza di un grado appena, od un po' meno di due diametri apparenti della luna, trovò il pianeta preconizzato da Leverrier. La notizia sparsa pel mondo eccitò un grido universale di ammirazione e di lode.

Adams voleva dare al nuovo pianeta il nome di *Oceano;* Challey, che lo aveva veduto prima, benchè lo riputasse una stella, voleva chiamarlo *Giano;* molti incominciarono a chiamarlo *Leverrier,* come per un tempo il pianeta Urano fu chiamato col nome del suo scopritore, Herschell. Fortunatamente venne preferito il nome molto più bello, e più in armonia con quelli degli altri grandi pianeti, sceltogli giudiziosamente dallo stesso Leverrier: **Nettuno.**

Se non che, osservato meglio il nuovo pianeta, e sottoposti a calcolo i suoi elementi da Adams prima, poscia da altri, e specialmente essendo calcolata da Hind la massa, medianti le osservazioni del satellite fatte da Lassell, si trovarono i seguenti elementi:

Semiasse maggiore	30.037
Rivoluzione siderea, anni	164.62
Eccentricità	0.0087
Longitudine del perielio	47° 15'
Longitud. media del 1.° Genn. 1850 .	335° 9'
Inclinazione all' orbita di Urano .	1° 0' 29"
Massa, essendo *uno* quella del sole	$\frac{1}{17500}$
Idem, essendo *uno* quella Terra .	20
Volume, essendo 1 quello della Terra	92

Come vedete, sonvi delle differenze enormi fra gli elementi del Nettuno imaginario, supposto da Leverrier. e gli elementi corrispondenti del Nettuno reale. Non crediate però che tutte queste differenze dall' imaginario al reale sieno casuali; esse non sono che la necessaria conseguenza di un solo errore fondamentale, che è quello della distanza media. Guardate per esempio alle due eccentricità: quella del Nettuno imaginario è ben dodici volte maggiore di quella del vero Nettuno. Guardate ancora alla posizione del perielio: quello del Nettuno falso e quello del Nettuno vero distano, in longitudine, ottanta gradi. La supposizione più naturale e più comoda pel calcolo sarebbe stata quella di un' orbita circolare, come poi si è trovato col fatto che lo è quasi perfettamente l' orbita del vero Nettuno. Ma il signor Leverrier, nel progresso de' suoi calcoli, dovette accorgersi che la distanza da lui prima supposta era realmente eccessiva per poter rendere ragione soddisfacente di tutte le perturbazioni di Urano negli anni che precedettero da vicino il 1846. Qual ripiego adottò l' abile artista, non meno che dotto geometra? Schiacciò la sua orbita, e la voltò di traverso, onde tirarne giù una parte, senza alterare la prediletta distanza media.

Tutte le nazioni, come tutti gl' individui, hanno le-

loro speciali virtú, ed i loro speciali vizii. L'indole nazionale dei Francesi è piena di generose ed amabili qualità, naturalmente unite a dei difetti. Dei quali il più fatale ad essi consiste nel badar più all'effetto teatrale che alla realtà delle cose. Perciò un dotto ma alquanto malizioso astronomo mi esternava un giorno il sospetto che il signor Leverrier ed i suoi amici, dopo i primi calcoli che fissavano l'approssimata posizione del cercato pianeta con un errore di soli dieci gradi, l'abbian trovato davvero col telescopio, ma serbassero il silenzio, per dar tempo di adattar meglio il calcolo al fatto, in guisa da poter dire al mondo scientifico: cercate il pianeta nel tal preciso punto, e lo troverete.

Io persisto a credere che il primo a veder il pianeta sia veramente stato il signor Galle: e che la mirabile coincidenza di preconizzarne la situazione, con error minore di un grado, sia dovuta in parte alla grande industria e dottrina del signor Leverrier, in parte al caso. Il signor Leverrier ha avuto incontrastabilmente due altre e grandi fortune ancora, senza delle quali ei non sarebbe mai giunto alla fama torreggiante di cui egli gode, ed alla carica eminente di Direttore dell'Osservatorio di Parigi. Egli ebbe la fortuna di fare, giovine ancora, la sua scoperta in quello stesso Parigi: non il Parigi dopo Sédan, ma all'aurora del 1848: e la fortuna ancora più grande di avere a Mecenate Francesco Arago, Direttore dell'Osservatorio, Segretario perpetuo dell'Accademia delle Scienze, e presidente dell'Uffizio delle Longitudini.

Arago era un gran Fisico, piuttostochè un grande Astronomo; ma egli aveva un'arte ammirabile di rendere intelligibili e popolari i trovati della scienza, ed una magnanimità che lo poneva al di sopra anche dei pochi scienziati di lui più profondi. Ancorchè fosse certo

di veder comparativamente ecclissata l' importanza delle sue proprie invenzioni, se credeva che una scoperta altrui potesse giovare alla scienza e fare onore alla Francia, ei se ne faceva l' ardente propugnatore ed Apostolo, nè davasi pace finchè non la vedesse accettata dal mondo scientifico.

Termineremo questa lezione sul gruppo dei quattro pianeti maggiori, e quindi tutto il nostro piccolo trattato sui pianeti, con un quadro delle loro distanze dal centro del sole, prendendo per unità il diametro del sole stesso. Più altre volte *(vedi ancora il quadro delle distanze, periodi, eccentricità ed inclinazioni, nella Tav. I, pag.* 400, *Vol. I)* dissi delle distanze approssimative in miglia ed in chilometri; ed in una futura lezione intorno alle geuranie planetarie, tornerò sopra al paragone delle distanze planetarie col raggio medio dell' orbita terrestre. È importante anche il loro confronto col diametro del sole; ed ha questo vantaggio in comune col quadro delle distanze in raggi medii dell' orbita terrestre, che l' uno e l' altro sono indipendenti dalla quistione sul maggiore o minor valore della parallassi solare. L' esattezza del sottoposto quadro dipende soltanto dal diametro apparente del sole, e dal periodo del passaggio pei nodi, quantità suscettibili di essere determinate con un grado di precisione assai maggiore che la parallassi e la distanza assoluta del sole.

Imperciocchè il sole è fra i corpi conosciuti dall'Astronomia, dalla Fisica, e dalla Storia Naturale, quello che più di tutti si approssima alla perfetta forma sferica: conseguentemente la Geometria e la Trigonometria ci rendono certi che il semidiametro reale del sole sta alla di lui distanza media dalla terra come il seno del semidiametro apparente sta all' unità. Di qui si rileva che la distanza media del centro della terra dal centro del

sole dev' essere assai prossimamente eguale a 107 diametri reali del sole, più 23 centesimi di tal diametro; e ciò con un error probabile non maggiore dell' uno in diecimila; mentre la stima della distanza reale del sole in raggi della Terra, od in chilometri, è esposta ad un errore non minore del tre per cento.

DISTANZE MEDIE
DEI PIANETI PRIMARII
preso per unità il diametro del Sole

Mercurio	41.51
Venere	77.56
Terra	107.23
Marte	163.39
Planetoidi	300.24
Giove	557.85
Saturno	1022.78
Urano	2056.80
Nettuno	3220.60

LEZIONE LX

Le Comete

I grandi fatti che sembrano nuovi od eccezionali nell' ordine della natura, sogliono generar maraviglia e timore negli animi umani. Quest' ultimo sentimento, la paura del nuovo e dell' ignoto, è un inconscio omaggio che noi tributiamo alla bontà del corso ordinario della Natura. La nostra inquietudine ad ogni evento od apparenza inaspettata, anche prima di averne sperimentato alcun danno, prova il convincimento istintivo che ogni ordinamento diverso da quello ora spettante alla Natura presenterebbe una probabilità di peggiorare le nostre sorti, anzichè di migliorarle. È il rovescio del sentimento che suol accompagnare tutti i mutamenti politici. Rivoluzione o controrivoluzione, Repubblica o Monarchia, Costituzione o Despotismo, od anche la semplice successione di un presidente ad un altro presidente, di un re ad un altro re, suol essere sempre salutata con gioia e con isperanza dalle moltitudini: ciò prova soltanto che tutti gli ordinamenti sociali finora sperimentati furono così tristi, che il surrogarvi l' ignoto presenta maggior probabilità di guadagno che di perdita.

Grande era il terrore cui ispiravano le comete nei tempi di ignoranza; ma è quasi interamente svanito, dacchè la scienza ha scoperto che i grandi movimenti di quegli strani corpi celesti ubbidiscono fedelmente ad una delle più belle leggi della Natura, l' attrazione universale.

« *Comètes, que l'on craint à l'égal du tonnerre,*
Cessez d'épouvanter les peuples de la terre.
Dans une ellipse immense achevez votre cours,
Ascendez, descendez près de l'Astre du jour. »

Questi versi di Voltaire, sono belli: al certo però non basterebbero a togliere ogni ragione di paventare che le comete possano, quando che sia, originare delle calamità. Verissimo è che alcune, chiamate comete periodiche, descrivono delle grandi ellissi, accostandosi e scostandosi con regolare alternativa dal sole, come accenna il poeta filosofo: ma la maggior parte delle comete, pure accostandosi fino ad un certo momento al sole, se ne allontanano di poi, per non più ritornarvi, descrivendo una delle due coniche aperte, la parabola o l'iperbole; ed anche le orbite ellittiche e chiuse, ma molto schiacciate, delle comete periodiche, non sono separate fra loro e dalle orbite dei pianeti per mezzo di grandi e regolari intervalli, come le orbite quasi circolari e quasi concentriche dei principali pianeti. Quantunque sia dimostrata l'impossibilità che un altro pianeta venga mai ad urtare la nostra terra, non è egualmente provato impossibile l'urto di una cometa; soltanto esso è grandemente improbabile. Vi è per esempio da scommettere almeno quaranta milioni contro ad una semplice unità, che in un dato anno non accadrà il cozzo della terra con una cometa grande abbastanza per esser veduta ad una distanza eguale al raggio dell'orbita terrestre.

Ove però accadesse di fatto il temuto incontro, le conseguenze sarebbero più o meno funeste, secondo la maggiore o minor massa della cometa. Le stelle cadenti non portano il nome di comete, ma pure si cominciano oggi a considerare come altrettante comete piccolissime; tanto piccole invero che si attribuisce ad una gran

parte di esse appena un grammo di peso: ora codeste son comete che incontrano davvero la terra, ma non vi producono alcun sinistro, a cagione della loro stessa piccolezza, ed anche perchè si abbruciano e volatilizzano nelle più alte regioni dell'atmosfera. Le comete propriamente dette avranno senza dubbio delle masse di gran lunga maggiori, molto inferiori però a quelle dei pianeti, ed ancora dei loro satelliti. Infatti la cometa del 1770 passò attraverso al sistema dei satelliti di Giove senza cagionarvi alcuna sensibile perturbazione, benchè essa medesima ne soffrisse delle così forti da averne affatto cambiata la sua orbita. Ma il maggiore dei satelliti di Giove, che è il terzo, ha una massa eguale ad una quarantesima parte di quella della terra; e la massa del primo, che è non il più piccolo ma il più leggero, equivale alla dugentesima parte della massa terrestre: quindi egli peserebbe circa trenta trilioni di tonnellate. Potrebbe dunque una cometa avere una massa mille volte più piccola di questa, e perciò passando rapidamente attraverso al sistema di Giove, turbarlo così poco da non farne accorti gli osservatori terrestri, e tuttavia essa peserebbe sei mila volte più di tutta la nostra atmosfera!

Se però venisse a cadere dal cielo una massa anche soltanto eguale a quella dell' atmosfera terrestre, o più di cinque mila bilioni di tonnellate, sarebbe una catastrofe universale; specialmente quando fosse una massa gazzosa. Animali diversi da noi potrebbero per avventura respirare la nuova mescolanza aeriforme: la razza umana si estinguerebbe.

Non ho ragioni per escludere la possibilità di una catastrofe anche più strepitosa, di qui a qualche milione di anni, allorchè il presente mondo si avvicinerà naturalmente alla sua decrepitezza: tengo per fermo che non avverrà di qui a poche migliaia di secoli, per la sola

ragione che splendono agli occhi miei migliaia di prove che questa gran macchina è stata disegnata e costrutta da un Artefice di suprema sapienza.

Con tutto ciò, fra gli argomenti obligatorii del mio assunto, quello di dover trattare delle comete è per me uno de' meno graditi, perchè lo veggo circondato di troppi misteri, i quali la scienza avrebbe ambizione e bisogno di dissipare, ma nol può. Esporrò brevemente dapprima alcuni dei fatti più importanti, ma oggimai incontrastati, e la teoria neutoniana dei loro movimenti; indi la nuova e bella teoria dello Schiaparelli intorno alle loro relazioni colle stelle cadenti; ed infine accennerò alla parte meno soddisfacente del nostro soggetto, cioè alle congetture che ancor rimangono a farsi intorno ad esso.

Grande è il numero delle comete che furono viste ad occhio nudo, e delle quali è rimasto qualche ricordo storico. In una lista citata da Lalande se ne trovano annoverate settecento. Alcune splendettero di luce così viva da poter essere visibili anche di giorno. Mi rammento io stesso di aver veduto prima dell' imbrunire quella del 1843. Tali si dicono ancora essere state quelle del 1532, e del 1403. Risalendo molto più indietro ancora, sembra essere stata visibile di giorno quella che apparve nell' anno 44 avanti l' èra volgare, poco dopo la morte di Giulio Cesare, e cui la popolare superstizione credette esser l' anima di lui assunta al cielo. Seneca parla di una cometa la quale si rese visibile di giorno, durante un' ecclissi di sole, nell' anno 60 avanti l' era Cristiana. Gli annali Chinesi parlano pure di grandi comete osservate in varie ed antiche epoche.

Attesa la rapidezza del loro moto nel tempo della loro visibilità, alcune comete si vedono soltanto in un emisfero, sfuggendo all' osservazione nell' altro emisfero,

a cagione del non rimanere sull'orizzonte se non durante il giorno. Le più belle, vedute in Europa nel nostro secolo, sono quelle del 1811, 1835, 1843, 1858, e 1862. Ben maggiore è il numero delle piccole comete visibili solo coll' aiuto del telescopio, che quello delle grandi comete visibili ad occhio nudo.

La circostanza che principalmente distingue le comete agli occhi del volgo, è la loro *coda*, la quale è, o sembra essere, una lunga appendice più nebulosa e meno luminosa, aggiunta alla parte principale, o *testa* della cometa. La coda comparisce alle volte quasi d'improvviso, ma generalmente non molti giorni prima del perielio; suol aumentarsi per breve tempo dopo il perielio, poi gradatamente diminuire. L'estensione, apparente o reale, della coda delle comete, varia molto, ma è generalmente grandissima. La coda della stupenda e celeberrima cometa del 1811, aveva una lunghezza apparente di 53°, ed una lunghezza reale che si suppone di ottanta milioni di miglia. La coda della cometa del 1843 estendevasi a 40°. Quella del 1680 aveva un'estensione angolare molto più grande ancora, cioè 90°, od un quadrante. Quella del 1618 sino a 104°.

Per gli astronomi, la testa delle comete suddividesi in due parti, che sono il nucleo e la chioma. Il nucleo è la parte più centrale e più brillante della testa. Attorno al nucleo, non in forma sferica, nè simmetrica, nè costante, ma variabilissima, avvi una grande aureola diàfana e luminosa, ed è questa alla quale gli astronomi danno il nome di chioma. La porzione più estesa della chioma suol essere dalla parte del sole. Infine essi distinguono ciò cui accordansi col volgo a chiamare la coda, più trasparente e meno luminosa, ed incomparabilmente più estesa della chioma, ma pur tale da sembrar una continuazione della chioma stessa rivolta all'indietro, ossia generalmente dalla parte opposta al sole.

Per aiutare l'imaginazione a concepire l'ordinaria posizione della coda delle comete, rispetto al loro moto, figuriamoci due donne, ornate ambedue di una lunghissima e sciolta capigliatura. Una di queste due donne corre velocissimamente, come la mitica Atalanta; ed i biondi capelli le svolazzano dietro al capo. L'altra donna corre pur essa, ma volgendo a destra la faccia verso il sole, ed intanto spira un vento impetuoso dalla parte stessa del sole, verso la parte dal sole più lontana, e stende il lungo crine verso la sinistra della donna, ossia verso la parte opposta al sole. Or bene: di queste due donne, quella che meno male rappresenta il moto delle comete, e la posizione relativa della loro coda, non è la prima, ma la seconda. *(Vedete la figura a pag. 280)*; ciò è a dire: la lunga coda non sembra uno strascico che tenga dietro alla cometa, ma una grande ala cui essa stende di fianco, quasi perpendicolarmente alla sua strada, e per lo più dalla parte contraria a quella del sole. Dico per lo più, giacchè alcuni di questi bizzarri astri hanno talora spiegato la coda verso il sole. Altre volte ancora essi han gettato più d'una coda.

Per lo più la coda è diritta, ma di larghezza crescente dalla testa della cometa sin presso all'estremità. Qualche volta però la coda è inarcata a guisa di scimitarra: tale fu la coda della bella cometa di Donati nel 1858. La coda della cometa del 1577, secondo le osservazioni di Cornelio Gemma, somigliava ad un gigantesco pennacchio, composto di piume distinte, di varia lunghezza, crescente con bella gradazione, e tutte elegantemente curvate.

Non è certo che la coda sia un appendice necessaria delle comete. Le telescopiche generalmente sembrano esserne mancanti; benchè altri possa ragionevolmente sospettare l'esistenza della coda anche nelle comete

telescopiche, ma di luce e grandezza troppo fievole per potersi scorgere.

Il nome di *cometa* deriva senza dubbio da una parola greca che significa chioma, come è certo che la parola greca *kome*, e la parola latina *coma*, madre della parola italiana chioma, hanno un identico significato, ed un' identica origine Ariana. Questa etimologia è più o meno fedelmente ripetuta in tutti i libri di Astronomia; ma con altrettanta e certamente soverchia docilità è ripetuto l'errore che la chioma donde le comete traggono l'antico lor nome, sia ciò che è chiamato chioma dagli astronomi moderni, val a dire l'aureola la quale circonda il nucleo. No; gli antichi sapevano nulla di codesta chioma, non discernibile che coi telescopii. Ciò che essi con poetica grazia denominavano la chioma delle comete, è quel che oggi, con prosaica metafora, si chiama la coda.

Essendosi applicata l' osservazione spettroscopica alle comete apparse in questi ultimi anni, lo spettro si è mostrato discontinuo, ciò che indicherebbe uno stato gazzoso, od almeno la presenza di un' atmosfera attorno al loro nucleo. Inoltre il polariscopio indica una luce polarizzata, e quindi riflessa, solamente nella chioma della cometa; ciò che fa sospettare una luce sua propria nel nucleo. Sicuramente non è lecito il supporre che anche il nucleo non rifletta la luce del sole, ma potrebbe per avventura la luce propria del nucleo esser maggiore della luce riflessa, come sarebbe in un pianeta di involucro tuttora incandescente, o ridivenuto tale.

Il nucleo delle comete ubbidisce, in maniera perfetta ed evidente, alla legge dell' attrazione neutoniana, e quindi a tutte e tre le leggi di Keplero. Conseguentemente l' area descritta dal raggio vettore è proporzionale al tempo; la traiettoria del nucleo è sempre una delle tre sezioni coniche, ellissi, parabola, od iperbole, il di cui

fuoco attivo risiede nel centro del sole, o vicinissimo ad esso: e quando la traiettoria è un' ellissi, il quadrato del periodo di rivoluzione sta al quadrato del periodo di un' altra cometa o di un pianeta, come stanno fra loro i cubi degli assi maggiori. Il vertice della sezione conica descritta dal nucleo è il punto più vicino al sole, di tutta la traiettoria, e perciò si chiama il perielio. È una bella ma geometrica e rigorosa conseguenza della prima legge di Keplero, che la velocità di un pianeta o di una cometa in ogni punto della traiettoria sia in ragion inversa della perpendicolare condotta dal foco alla tangente. Perciò il nucleo della cometa va continuamente accelerando la sua velocità di mano in mano ch' ella si accosta al perielio: ivi giunta ella ha la sua massima velocità; ma appena oltrepassato il perielio, il moto del nucleo va rallentandosi a grado a grado, fino a tanto che esso giunga al punto opposto, o di massima distanza dal sole, che perciò si chiama l' *afelio*, se la curva descritta è un' ellissi. Quivi la cometa ha la sua minore velocità. Dall' afelio sin che ritorna al perielio, il moto del nucleo viene, per lo contrario, affrettandosi di continuo.

Ma la coda delle comete non ubbidisce punto alla legge dell' attrazione neutoniana, ed alle tre leggi di Keplero, e quindi essa non consiste in materia ponderabile; o se è composta di materia soggetta alla gravitazione, questa materia sarà soggetta ancora ad altre forze localmente più influenti: come per esempio i corpi animali sono perfettamente soggetti alle leggi della gravità, ma i loro movimenti dipendono ancora da altre forze individualmente più efficaci sul corpo animato, di quello che l' attrazione terrestre. In verità le forme e la variabilità della coda, ma più le mutabili forme dell' aureola o chioma, osservate coi migliori telescopii al tempo della maggior loro attività, quando son vicine al

perielio, presentano un' analogia, certamente illusoria ove volesse interpretarsi alla lettera, degna nondimeno di essere meditata, colle forme di un gigantesco ma vivace corpo organico.

Negli ultimi anni si son osservate dagli astronomi, coi telescopii, da tre in quattro comete all' anno, per termine medio. Nell' anno 1846 se ne osservarono sino ad otto. Poche sono fra esse quelle nella cui orbita si è riconosciuta con sicurezza e precisione la forma ellittica, e delle quali può conseguentemente determinarsi il periodo, e predirsi il ritorno. Nondimeno il periodo di una cometa, e per mezzo di esso la grandezza del di lei asse maggiore, possono ancora determinarsi confrontando le date delle apparizioni successive di comete dapprima supposte diverse, ma la di cui probabile identità si rileva dalla rigorosa o prossima eguaglianza degli elementi più facili ad osservarsi. Questi sono in primo luogo il moto diretto o retrogrado; la longitudine del nodo ascendente o discendente; la longitudine del perielio; l' inclinazione dell' orbita all' eclittica; ed anche direttamente il periodo stesso, quando gl' intervalli fra le successive comparse sono prossimamente eguali, ovvero multipli e submultipli uno dell' altro.

Deve realmente esser molto maggiore il numero delle comete che descrivono attorno al sole un' iperbole; imperocchè, al di là dell' orbita di Nettuno, basta una velocità *relativa* non minore di 110 metri per dare una traiettoria iperbolica. Ora è certo che la maggior parte dei corpi fuori del nostro sistema solare avranno una velocità relativa, rispetto al sole, maggiore di 110 metri, perchè il sole stesso ha già una velocità assoluta di quattro chilometri. La maggior parte però dei corpi che descrivono un' orbita iperbolica attorno al sole, passano inosservati da noi.

In tutti i casi, od almeno nella maggior parte dei casi, tanto le orbite iperboliche, come le orbite realmente ellittiche, le quali sono tutte di grande eccentricità, e quindi molto schiacciate ed allungate, presentansi come di forma prossimamente parabolica nel breve tratto di loro corsa durante il quale sono visibili a noi.

La prima cometa i movimenti della quale furono trovati conformi alle leggi della gravitazione neutoniana, fu quella che apparve nell' anno 1680; e la scoperta di questa conformità fu fatta dallo stesso Newton. Anche senza questa importanza istorica, la cometa del 1680 è una delle più degne di essere conosciute, sia per l'enorme lunghezza della sua coda, sia per l'eccessivo approssimarsi di lei al sole: perocchè essa andò quasi a radere il gran luminare, dalla superficie del quale, al momento del perielio, essa dilungavasi soltanto di una sesta parte del diametro solare.

Due anni dopo la comparsa della cometa di Newton, cioè nel 1682, il mondo restò attonito all' apparire di un' altra gran cometa, la quale ha ricevuto il nome di cometa di Halley, perchè questo compagno e discepolo di Newton, dalla identità degli ementi, rilevò la identità della cometa del 1682 con quella del 1607 osservata da Keplero, e con quella del 1531 osservata da Longomontano. Egli le attribuì conseguentemente un periodo di 75 in 76 anni, ed avventurossi a predirne il ritorno circa l'anno 1758. Prima del pronosticato evento, un geometra francese, Clairaut, sottopose ad un calcolo laborioso e sapiente le perturbazioni alle quali doveva andar soggetta la cometa di Halley per l'attrazione dei due più grossi pianeti, in vicinanza dei quali essa doveva passare. Egli previde un ritardo di 100 giorni per fatto di Saturno, ed uno di 518 giorni per fatto di Giove: all'intutto un ritardo di 618 giorni. La cometa riap-

parve in realtà nel 1759, e passò pel perielio il 12 Marzo di quell'anno, un mese solo avanti l'epoca predetta da Clairaut. L'entusiasmo degli astronomi del secolo passato per questo bel trionfo della teoria Neutoniana fu anche più grande e più giustificato di quello suscitato ai nostri giorni dalla scoperta di Leverrier.

La cometa del 1811 fu dapprima osservata col telescopio il 26 Marzo 1811, e per l'ultima volta il 17 Settembre 1812. Così essa rimase visibile agli astronomi poco meno di diciotto mesi; ma fu splendidamente cospicua per molto tempo anche ad occhio nudo. Il giorno del suo perielio fu il 12 di Settembre 1811. Per una coincidenza, creduta non casuale dal popolo, ma probabilissimamente estranea del tutto all'influenza fisica della cometa, si fece in quell'anno una vendemmia di insolita abbondanza, specialmente in Francia: ed i migliori vini che ne furono tratti, e conservati per lungo tempo, sono celebri sotto l'improprio nome di vino della cometa. Accidentalmente si riprodusse la stessa fortunata coincidenza anche nel 1858. In una lezione popolare mi è lecito senza dubbio di farne menzione, per rendere tanto più chiara l'assurdità dell'antico pregiudizio che le comete sieno foriere di disgrazie.

La cometa del 1811 ha un'orbita ellittica enormemente grande ed allungata. La sua distanza perielia era prossimamente eguale al raggio medio dell'orbita terrestre. L'asse maggiore è stato computato 422, preso per unità il raggio stesso dell'orbita nostra; conseguentemente il periodo sarebbe 3065 anni, e la distanza afelia 421 raggi della nostra orbita, o sessantaquattro mila milioni di chilometri. Il periodo di 3065 anni, o, in numeri tondi, tremila anni, era quello che si sarebbe mantenuto eternamente nella cometa, come conseguenza matematica ed immancabile della velocità e della di-

stanza dal sole ch'ella aveva nel giorno del suo perielio, se non vi fossero state e per esservi delle perturbazioni. Il calcolo è d'Argelander, il quale ne stimò l'error probabile non maggiore di 43 anni: ma egli trova che l'effetto accumulato dell' attrazione di Giove e degli altri grandi pianeti, da quell' epoca sino al Maggio del 1827, hanno alquanto accorciato l'asse maggiore dell' orbita della cometa, in guisa che la durata del periodo corrispondente alla larghezza dell' asse in Maggio 1827 erasi ridotta a circa 2888 anni. La cometa del 1811 rimane ancora, fra i corpi che indubitatamente formano una parte permanente del nostro sistema planetario, quello a cui spetta il più lungo periodo conosciuto.

Anche per volume, nessun' altra cometa della quale si sieno potute calcolare le dimensioni, ha mai superato quest' una. A mezzo Ottobre, cioè un mese dopo il passaggio pel perièlio, la di lei magnifica coda, in forma di ventaglio, aveva una lunghezza apparente di 23 in 25 gradi, ed una lunghezza assoluta eguale al raggio dell' orbita terrestre, o circa centocinquanta milioni di chilometri. La testa, la quale per altro cambiò molto le sue dimensioni in diversi tempi, aveva un diametro di un milione e mezzo di chilometri, quando essa era nel suo maggiore sviluppo: quindi il volume della testa della cometa sembra essere stato pari a quello del sole, e forse maggiore ancora.

Non è però a supporsi che le comete abbiano, a gran pezza, una massa proporzionale al loro volume: perocchè senza pur dar corpo al sospetto, il quale non mi sembra irragionevole, che la coda e l'aureola non facciano parte integrante della cometa, ma sieno fenomeni accessorii di un corpo luminoso, come le ombre e gli aloni, noi abbiamo nella straordinaria trasparenza delle comete un indizio che la testa e la coda, anche

se sono corpi reali, ed aderenti alla cometa, sarebbero di una densità sommamente attenuata. Le stelle fisse brillano di più viva luce attraverso alla testa delle comete. Il nucleo, cioè la parte più brillante o più esenziale, anche in questa cometa del 1811, come in tutte le altre, era di estrema piccolezza in paragone del volume totale della testa. Il diametro del nucleo fu stimato 684 chilometri, o poco disuguale a quelli delle quattro principali planetoidi, Pallade, Vesta, Giunone e Cerere.

La cometa di Halley ricomparve fedelmente nel 1835, e passò il perielio con un intervallo di settantasei anni, otto mesi e tre giorni, dopo il precedente passaggio. Il periodo era per tal modo allungato di un anno incirca sopra l'antico periodo computato da Halley, e ciò in virtù delle perturbazioni cumulativamente cagionate dai grandi pianeti nell'intervallo dal 1682 al 1835. Essa attrasse la generale attenzione del popolo, non meno che dei dotti, anche nel 1835, ed è, come dissi, una delle cinque più belle, osservate in questo secolo; molto meno però di quella che la seguì otto anni dopo.

La gran cometa del 1843 non era così grande come quella del 1811; nondimeno, a cagione della maggiore di lei vicinanza a noi ed al sole, essa è risguardata come la più fulgida e bella fra le comete apparse nel nostro secolo. Brillò di straordinario splendore durante il mese di Marzo del 1843, in apparente prossimità alla grande e bellissima costellazione di Orione. La di lei coda, una magnifica e gigantesca colonna di luce nebulosa, estendevasi per una lunghezza di 50 in 60 gradi. Essa è una delle comete periodiche, ed il suo periodo è di 175 anni; perocchè le comete delle quali parla la storia come comparse negli anni di Cristo 268, 443, 968, 1143, 1317, 1494, e 1668, altro non furono che

precedenti apparizioni di quest' una del 1843. La distanza perielia della cometa del 1843 è la più piccola che si conosca: essa infatti rasentò la superficie del sole, più davvicino ancora che la cometa del 1680, tenendosene lontana soltanto un settimo del raggio solare.

Il 2 di Giugno 1858 Donati a Firenze trovò una cometa, allora appena percettibile col suo buon telescopio: ma, a poco a poco, accostandosi sempre più al sole per riceverne maggior attività e luce, ed alla terra per mandarcene in maggior proporzione, essa divenne un grande e mirabile fenomeno celeste, cospicuo a tutti, e mantennesi tale per tutta la durata dei due mesi di Settembre ed Ottobre. Raggiunse il suo perielio a mezzogiorno del 30 Settembre, essendo apparentemente in vicinanza del carro dell' Orsa maggiore. La direzione della coda accennava agli altri tre grandi asterismi, notevoli per una forma somigliante al carro dell' Orsa maggiore: cioè i carri dell' Orsa minore, di Cassiopea, e di Andròmeda.

Nella sera del 5 Ottobre 1858, alle ore 7 di tempo medio Inglese, il nucleo della cometa passò alla sua minor distanza apparente, od angolare, dalla grande stella *Adef*, o Arturo, la più bella dell' emisfero settentrionale del cielo: e questa minima distanza non fu che di 20 minuti, od un terzo di grado. Al momento della congiunzione col nucleo, la stella brillava attraverso alla coda. Era l'epoca della maggior bellezza della cometa di Donati, perché a quasi eguale intervallo di tempo fra il giorno del di lei perielio, che aveva avuto luogo, come dissi, il 30 Settembre, ed il giorno del suo perigeo, o minor distanza dalla terra, il quale avvenne il 9 di Ottobre. In quel breve periodo di nove o dieci giorni, la cometa, agli occhi nostri, sembrò percorrere sulla volta del cielo un arco di 45°. La distanza perielia

della cometa di Donati è 0.58; il periodo incirca 2100 anni; l'inclinazione 63°; il movimento diretto.

Onde aiutare l'imaginazione di quelli che son troppo giovani per ben rammentarsi la cometa del 1858, riferirò una delle impressioni ch'essa fece nella mia propria imaginazione in quella sera del 5 Ottobre. Dal centro di Londra, passando pel parco del Reggente, io mi recava a Primrose Hill, nei contorni occidentali della gran città, per meglio osservarvi, dall'alto di quella piccola altura di forma conica, l'aspettata congiunzione di Arturo colla cometa. Strada facendo, e giunto quasi a piedi del colle, avvenne che la cometa si trovasse, a' miei occhi, come verticalmente sovrapposta alla cima del colle stesso. Fui irresistibilmente tratto ad imaginare che la piccola montagna fosse un vulcano, e la splendida cometa, colla sua magnifica coda, ne fossero l'eruzione luminosa. Insistendo sopra quella fantastica idea, si sarebbe detto che la coda fosse più specialmente una colonna di fumo, illuminata per riflesso dal non veduto fuoco interno del cratere. L'imaginaria colonna di fumo era però più snella, ed in apparenza più alta, come lo era incomparabilmente più ancora in realtà, che la colonna di fumo solita a sorgere dal Vesuvio; e quella, per completare l'imagine, pareva leggermente piegata verso la mia destra dal vento.

Quale era, non il vento, ma la gigantesca e reale cagione che ergeva e piegava quella colonna luminosa, la di cui vera lunghezza non era certamente inferiore a trenta o quaranta milioni di miglia? È abbastanza difficile l'assegnare con sicurezza le cause delle eruzioni vulcaniche, delle quali quel gran fenomeno celeste presentava in quel momento al mio sguardo una casuale ed illusoria apparenza: ma sarebbe molto più difficile ancora il dare soddisfacente spiegazione dei principali fe-

Ghetti
Giungi Venanzio
Lancellotti Silvio
Martinini Innocenzo
Montanari, Conte
Pedrizzi
Salvoni
Tommasini Oreste
Tosi Raffaele
Ugolini Camillo
Vecchi Archimede
Zanoli Luigi

ROMA

Crescentini Crescentino
Petroni Raffaele
Pianciani Conte Luigi, Deputato al Parlamento

ROVIGO

Pittoni Leonardo, Giudice al Tribunale

SANT' ARCANGELO

Onorevole Municipio

S. REMO

Grimaldi Antonio

SAVIGLIANO

Racca e Brescia, Tipografi e Librai

SAVIGNANO

Biblioteca Comunale
Fellini Ing. Lucio

SINIGALLIA

Contini Prof. Efisio
Ferroni Frati Fratelli
Nervi Emilio Presidente del R. Liceo.

TORINO

Dajala Prof. Giuseppe
Mattiroli Luigi

TRANI

Campanella Giuseppe

TREIA

Aurelii Prof. Avv. Tito
Giacomi Avv. Filippo
Lattarsi Giuseppe
Roganti Federico, Perito

URBINO

Vilanova Prof. Giobato

N. B. Si domanda venia per le molte inesattezze dell'elenco dei signori associati, dovute principalmente alla difficoltà di leggere la rispettiva firma nelle schede Saranno inserite le rettificazioni chieste. È da aggiungersi intanto ai nomi degli associati Bolognesi quello dell'illustre scrittore Luigi Gualtieri, che per accidentale combinazione fu omesso nel primo catalogo, benchè egli fosse precisamente il primo ad inscriversi.

NOTA. La Stampa delle lezioni XXXXI, e XXXXII, sulle correnti atmosferiche e marine, ebbe luogo mentre io assisteva ai lavori per la chiusura della rotta del Po a Guardia Ferrarese, ove fu applicato in gran parte e con buon successo il sistema da me esposto nella lezione XX. Sventuratamente occorsero diversi errori di scrittura e tipografici, i quali stimo bene di rettificare.

Riferendo le linee trigonometriche non al meridiano, ma al circolo di raggio 1, rendonsi necessarie le seguenti modificazioni.

Pag.	linea	invece di	leggi
37	11	dx	rdx
»	13	πr	$2\pi r^2$
»	20, 24, 25	r^3	r^4
38	6	$-\frac{1}{12}r+\frac{3}{4}r=\frac{2}{3}r$	$-\frac{1}{12}+\frac{3}{4}=\frac{2}{3}$
48	16	r	r^2

I risultati del calcolo rimangono inalterati.

INDICE DEL QUINTO FASCICOLO

N. B. *L' altra metà di questa lezione si troverà nel 6.º fascicolo.*

Prezzo d' ogni Fascicolo Lire **2, 50.**